

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Kompensace jalové energie na rypadle KU800/20
Power Factor Correction on KU800/20

2014

Bc. Kocourek Tomáš

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kocourek**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Kompenzace jalové energie na rypadle KU800/20**
Power Factor Correction on KU800/20

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor koncepce napájení průmyslových rozvodů
2. Specifika sítí povrchových dolů
3. Možnosti kompenzace rypadla KU800
4. Návrh variant řešení
5. Výběr optimální varianty kompenzace a její podrobná specifikace
6. Technickoekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB TU 1992 a 1993
2. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB TU 1990
3. Krychtálek Z., Pauza J.: Elektrické stanice SNTL 1989
4. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL 1980
5. Hodinka, M., Fecko, Š., Němeček, F.: Přenos a rozvod elektrické energie. SNTL 1989 Praha
6. Trojánek, Z., Hájek J., Kvasnica, P.: Přechodové jevy v el. soustavách, SNTL 1988 Praha
7. Normy ČSN, firemní literatura, technická dokumentace SD.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Nemalé díky také patří všem těm, co mne podporovali během mého studia na VŠB-TUO.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením doc.Dr.Ing. Jiřího Gureckého a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě :

.....

Plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta :

Rokycanova 3814/4
430 02 Chomutov

Anotace :

Předmětem diplomové práce „Kompenzace jalové energie na rypadle KU800/20“ je najít možnost a návrh řešení kompenzace účinníku na tomto stroji.

První část práce popisuje specifika sítě povrchového dolu a dále se zabývá teoretickým rozбором kompenzace a důvodům, proč kompenzovat.

Druhá praktická část komentuje provedená měření, zabývá se vlastním návrhem způsobu řešení kompenzace a jejím technickoekonomickým zhodnocením.

Klíčová slova: jalový výkon; kompenzace účinníku; kompenzační články;
individuální a skupinová kompenzace;

Abstract:

The subject of the thesis "Power factor correction of the excavator KU800/20" is to find a potentiality and bring a solution for power factor correction on this machine.

The first part describes the specifics of strip mine's network and deals with the theoretical analysis of compensation and the reasons why compensate.

The second practical part comment the measurements, dealing with its own proposed solution for compensation and its own technical-economical evaluation.

Key words: reactive power; power factor correction; compensation element;
individual and group compensation;

Seznam použitých symbolů a zkratek :

- DNT - Doly Nástup Tušimice
- SD - Severočeské doly a.s.
- TC - technologický celek
- PD - poháněcí dopravník
- AC - střídavé napětí
- DC, ss - stejnosměrné napětí
- DL - dopravní linka
- DT - distribuční trafostanice DT
- IT - izolovaná soustava
- TN - nulovaná soustava
- vn - vysoké napětí
- nn - nízké napětí
- P - činný výkon
- Q - jalový výkon
- S - zdánlivý výkon
- U_N - jmenovité napětí
- I_N - jmenovitý proud
- I_b - budicí proud
- U_b - budicí napětí
- IP - krytí izolace
- AM - asynchronní motor
- MKP - kondenzátory z metalizované polypropylénové fólie
- SF₆ - fluorid sírový
- ALL-FILM - Technologie výroby VN kondenzátorů, kdy dielektrikum tvoří několik vrstev polypropylénové fólie a elektrody fólie hliníková
- PCB - Polychlorované bifenyly

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. KOLESOVÉ RÝPADLO KU 800/20.....	11
2.1 POPIS	11
2.2 PARAMETRY KU800/20 :	13
3. ELEKTROENERGETICKÁ ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ.....	14
3.1 ELEKTRICKÁ VEDENÍ	14
3.1.1 Venkovní vedení	14
3.1.2 Kabelová vedení	14
3.2 ELEKTRICKÉ STANICE	14
3.3 TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ	16
3.3.1 Napěťové soustavy pro technologická zařízení	16
3.3.2 Kompenzace jalové energie v elektrických sítích uhelných lomů	17
3.3.3 Volba přístrojové výzbroje a vedení	18
3.3.4 Provoz a kontrola kompenzačního zařízení	19
3.4 POPIS ZPŮSOBU NAPÁJENÍ KU 800/20	20
3.4.1 Instalovaný výkon (asynchronní motory) na KU800/20	20
3.5. PROFIL SPOLEČNOSTI SD A.S. :	20
4. ZÁKLADY KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU Q	22
4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	22
4.1.1 Spotřebiče jalového výkonu	25
4.2 ZPŮSOBY KOMPENZACE	26
4.2.1 Sériová kompenzace	26
4.2.2 Paralelní kompenzace	28
4.3 METODY KOMPENZACE	29
4.3.1 Individuální kompenzace	29
4.3.2 Skupinová kompenzace	30
4.3.3 Centrální kompenzace	30
4.3.4 Rozdělení kompenzačního zařízení dle způsobu spínání	31
4.4 PROSTŘEDKY KOMPENZACE	33
4.4.1 Kondenzátory nn	33
4.4.2 Kondenzátory vn	34
4.4.3 Rotační kompenzátory	34
4.4.4 Synchronní motory	35

5.	KOMPENZACE KU800/20 - SOUČASNOST	36
5.1	SYNCHRONNÍ ROT AČNÍ KOMPENZÁTOR 1HKY 5657/6	36
5.2	DŮVODY KE ZMĚNĚ	37
6.	INDIVIDUÁLNÍ KOMPENZACE 6 KV MOTORŮ DOPRAVNÍ LINKY(DL)	38
6.1	PROVEDENÉ MĚŘENÍ V ROZVODU 6 KVDL	38
6.1.1	<i>Popis měřené technologie</i>	38
6.1.2	<i>Popis měřicí aparatury</i>	40
6.1.3	<i>Výsledky měření</i>	41
6.1.4	<i>Potřebný kompenzační výkon</i>	48
6.2	VÝPOČET A NÁVRH INDIVIDUÁLNÍ KOMPENZACE	50
6.2.1	<i>Motory koleśa</i>	50
6.2.2	<i>Technické specifikace rozváděčů</i>	53
6.2.2	<i>Motory DL - nakládací pas</i>	54
6.2.3	<i>Motory DL - přední a zadní pas</i>	60
6.3	JALOVÝ VÝKON PO PROVEDENÉ INDIVIDUÁLNÍ KOMPENZACI	63
7.	SKUPINOVÁ KOMPENZACE EL. ZAŘÍZENÍ KU800/20	64
7.1	MĚŘENÍ V ROZVODU 35 KV	64
7.1.1	<i>Popis měřicí aparatury</i>	64
7.1.2	<i>Výsledky měření</i>	64
7.1.3	<i>Potřebný celkový kompenzační výkon</i>	68
7.2	FILTRAČNĚ - KOMPENZAČNÍ ROZVÁDĚČ	68
7.2.1	<i>Technické parametry</i>	69
7.2.2	<i>Silová část</i>	69
7.2.3	<i>Pomocné a regulační obvody</i>	71
7.3	ZHODNOCENÍ	73
8.	ZÁVĚR	75
	POUŽITÁ LITERATURA	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK	80
	PŘÍLOHY	81

1. Úvod

V úvodních stránkách této diplomové práce jsem se pokusil o stručný popis technických parametrů kolesového rýpadla KU800/20 a jeho využití v povrchovém lomu. Další kapitola je věnována rozvodným zařízením a způsobům napájení technologického celku v energetické soustavě dolů a způsobům provedení kompenzace v souvislosti s vnitropodnikovou normou.

Druhá "teoretická" část popisuje spotřebiče jalového výkonu a dále se zabývá podrobnějším rozdělením způsobů a prostředků vlastní kompenzace a nutnosti regulace jalové energie.

V "praktické" části se zabývám analýzou naměřených dat a v souvislosti s těmito výsledky pak realizací samotného návrhu možného způsobu provedení kompenzace. Dále je zde také zahrnut popis technických parametrů kompenzačních zařízení a jejich komponentů.

2. Kolesové rýpadlo KU 800/20

2.1 Popis

Tento velkostroj postavila počátkem 90-let minulého století firma Unex Uničov a od jeho uvedení do provozu je nasazen na 3. skrývkovém řezu DNT. Rýpadlo spolu se zakladačem ZPDH 6300 a PD tvoří technologický celek, který je především určen k těžbě skrývky v prostoru velkolomu DNT.

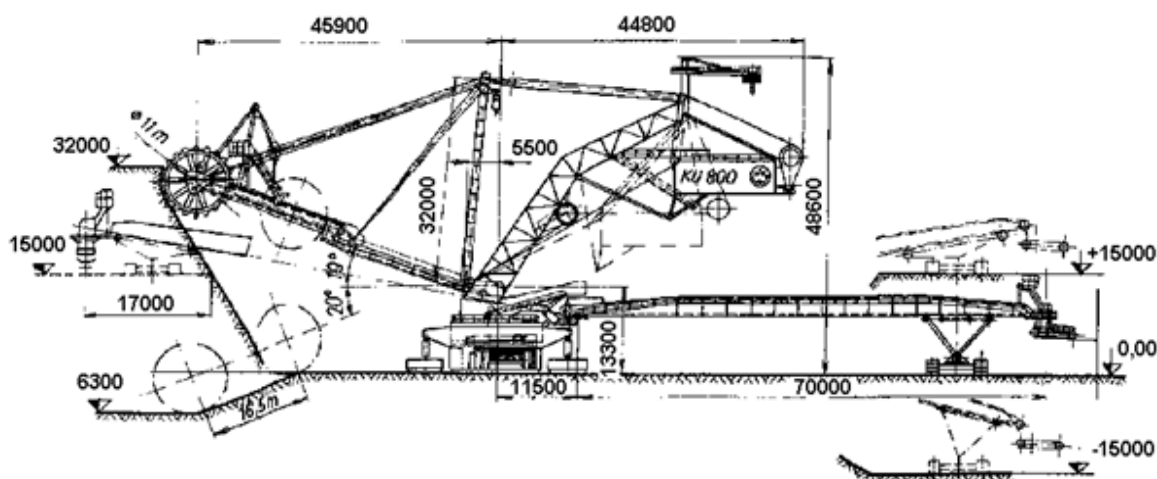
Kolesové rýpadlo tohoto typu je převážně využito pro povrchové dobývání nadložních zemin, speciálně sedimentů uložených bezprostředně nad uhelnou slojí. V posledních letech se také podílí na dobývání samotného ložiska hnědého uhlí.



Obr. 2-1 Kolesové rýpadlo KU800/20

Toto kolesové rýpadlo o výkonu 4047 m³ sypané horniny za hodinu je určeno pro práci na TC 3. Bezkomorové koleso o průměru 12,5 m má na obvodu 26 korečků o objemu 570 l. Pro vynášení horniny z prostoru kola je použito vynášecího talíře a krátkého pásového dopravníku. Kolesový výložník se skládá ze dvou samostatných dílů. Přední část, zavěšená na kotevních lanech, je zasouvána lanovým převodem na zadní část kolesového výložníku, kloubově zavěšenou na střední stavbě rýpadla. Na pevném vyvažovacím výložníku je zavěšena na páskovém paralelogramu pohyblivá strojovna, sloužící jako protizávaží. Spodní strana je skříňové konstrukce tvaru komolého jehlanu.

Na horní rovině je kruhový nosník kulové dráhy otoče. Podvozek rýpadla je kráčivý. Nakládací výložník je proveden jako mostový nosník, jehož jeden konec je zavěšen na střední stavbě rýpadla, druhý konec je podepřen pomocným pásovým podvozkem.



Obr. 2-2 Rozměry a dosahy kolesového rýpadla KU800/20

Rýpadlo má kráčivý podvozek, který se skládá z obdélníkové centrální desky a dvou dělených ližin, které jsou ovládány hydraulicky. Spodní stavba rýpadla nese hydrauliku kráčivého podvozku a kulovou otočovou dráhu. Otočný svršek tvoří deska, do níž je vetknut vyvažovací výložník, kloubově uchycen držící výložník, dále jsou zde pohony otoče, část elektrického zařízení, mezipás, teleskopický kolesový výložník. Vyvažovací výložník nese pohyblivou strojovnu, v níž jsou transformátory, rozvodny vn (35 kV a 6 kV) a nn, měniče pohonů zdvihu a výsunu kolesového výložníku a zdvihový vrátek kolesového výložníku. Ve střední části je uložen pohon výsuvu.

2.2 Parametry KU800/20 :

Průměr kola	12,5 m
Objem korečků	570 l
Počet korečků	26
Otáčky kola	5,5 min ⁻¹
Teoretický výkon	4 047 m ³ /hod
Výkon pohonu kola	2 x 1000 kW
Výška řezu	32 m
Hloubka řezu	6 m
Výsun	15,8 m
Úhel bočního svahu	49,5°
Horizontální dosah nakládacího výložníku od osy rypadla	
maximálně	96 m
minimálně	41 m
Rychlost dopravních pasů	4 m/sec

Výškové úrovně důlní pasové dopravy a roviny pojezdu rypadla :

nahoru do	15 m
dolu do	15 m
Kráčivý podvozek, délka kroku	3 m
Teoretická rychlost pohybu stroje	3 m/min
Praktická rychlost stroje	1-1,4 m/min
Dovolený sklon při provozu	4°
Dovolený sklon při transportu	6°
Váha stroje	4 300 tun

Pozn.:

Velkostroj KU 800/20 je kolesové rypadlo kráčeje pomocí hydraulických válců, na kterých jsou zavěšeny ocelové ližiny po nichž se posouvá a natáčí.

3. ELEKTROENERGETICKÁ ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ

3.1 Elektrická vedení

3.1.1 Venkovní vedení

V uhelných lomech přicházejí do úvahy jednoduchá a dvojítá venkovní vedení na ocelových příhradových stožárech se stupňovitými betonovými základy a dále jednoduchá venkovní vedení na betonových podpěrách nebo na příhradových ocelových stožárech s hranolovými betonovými základy. Kromě toho jsou v prostoru lomu a výsypky eventuelně u odvodňovacích vrtů v předpolí lomu používána přesuvná venkovní vedení do 35 kV AC, která jsou přesouvána s technologickými zařízeními těžební techniky apod.^[1]

3.1.2 Kabelová vedení

V uhelných lomech přicházejí do úvahy dva druhy kabelových vedení a to kabelové vedení stálé a kabelové vedení pohyblivé (přesuvné).^[1]

Kabelové vedení stálé se navrhuje všude tam, kde se nebude jeho trasa dlouhodobě měnit. Jsou tvořena zpravidla zemními kabely s celoplastovými plášti uloženými v zemi. Kabely mají různé průřezy Cu nebo Al.^[1]

Kabelová vedení pohyblivá (přesuvná) se navrhují všude, kde se bude stále měnit jeho trasa v závislosti na přemísťovaném technologickém zařízení. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla vlečnými kabely s Cu jádry. Tato vedení jsou uložena na povrchu terénu.^[1]

3.2 Elektrické stanice

V uhelných lomech se navrhují tyto typy elektrických stanic do 35 kV střídavého napětí (AC) 50 Hz a 1,5 kV stejnosměrného napětí (DC):

a) transformovny a rozvodny do 35 kV (AC), 50 Hz:

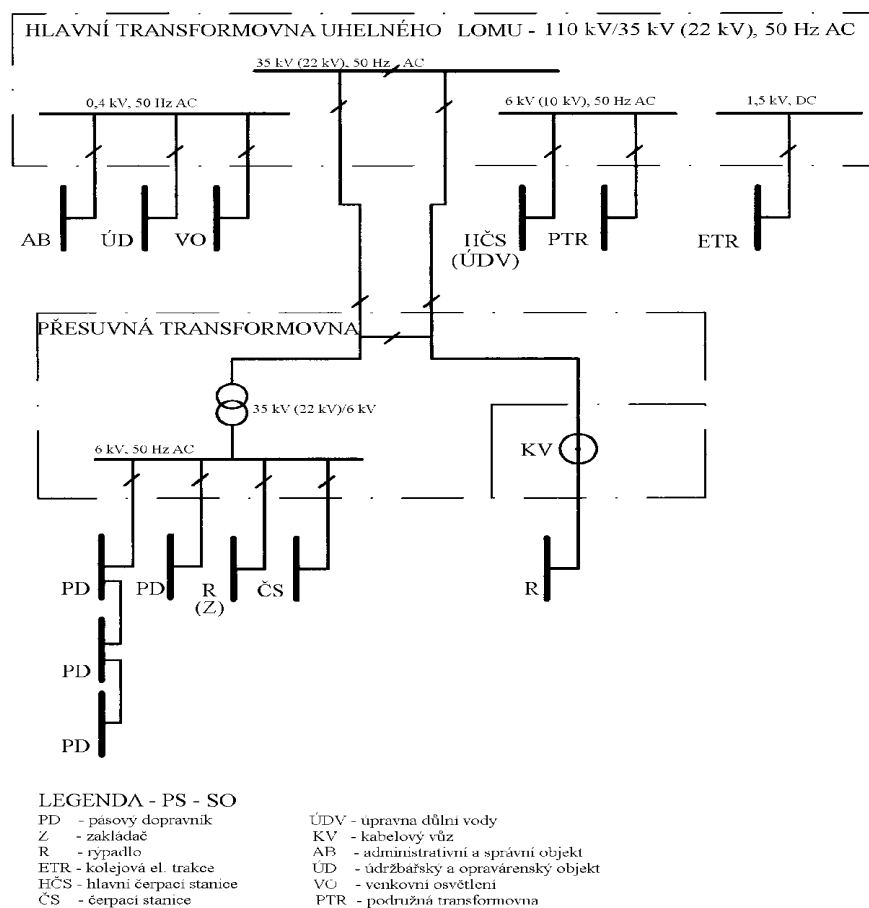
- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou skříňové nebo kobkové, výjimečně tzv. stykačové rámy;

- přesuvné - zpravidla na ližinách pro snadné přemísťování. Provedení je buď blokové (pro větší výkony), skládající se z několika samostatných funkčních částí (bloků), nebo kioskové (pro menší výkony), kde je v kiosku více funkčních částí;

b) měnírny a rozvodny 3 kV ss (DC):

- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou většinou skříňové;
- přesuvné - zpravidla na podvozku železničního vozu. Rozvodny jsou skříňového provedení. [1]

Z hlediska rozvodu elektrické energie v uhelném lomu se jedná zpravidla o paprskový rozvod, kdy z hlavní tzv. vstupní elektrické stanice (tam, kde je fakturační měření pro nákup elektrické energie), která je stabilní elektrickou stanicí, jsou napájeny podružné elektrické stanice, které mohou být stabilní nebo přesuvné, podle toho jak dalece jsou takovéto elektrické stanice předsunuty k technologickému zařízení. [1]



Obr. 3-1 Principiální přehledové schéma napájení technologických zařízení

3.3 Technologická zařízení

Technologická zařízení v uhelném lomu mohou být z hlediska hlavní výrobní činnosti uhlénoho lomu tato:

- a) technologická zařízení, která tvoří technologický celek (TC) pro dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot;
- b) doplňková a pomocná mechanizace pro TC;
- c) technologická zařízení měření, zajišťujících stejnosměrnou elektrickou energii pro kolejovou elektrickou trakci;
- d) technologická zařízení vodohospodářská (čerpací stanice úpravny důlních vod, odvodňovací vrty apod.);
- e) technologická zařízení opravárenská a údržbářská;
- f) ostatní zařízení, která nevykonávají hlavní výrobní činnost uhlénoho lomu, ale jsou pro tuto činnost nezbytná (administrativní, správní a sociální objekty, kuchyně apod.). [2]

V provozu jednotlivých uhlénohých lomů mohou být nasazeny různé kombinace velkostí a šíře pásové dopravy, vytvářející technologický celek (TC) pro zajištění požadovaného úkolu hlavní výrobní činnosti uhlénoho lomu. [2]

3.3.1 Napěťové soustavy pro technologická zařízení

Používané napěťové soustavy pro napájení technologických zařízení jsou:

- a) 110 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony nad 40 MVA;
- b) 35 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 20 MVA až 25 MVA;
- c) 22 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 15 MVA až 18 MVA;
- d) 6 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 2,5 MVA až 10 MVA.

Používané napěťové soustavy pro napájení jednotlivých pohonů technologických zařízení :

- a) 6 kV, 50 Hz AC;
- b) 500 V, 50 Hz AC,
- c) 400/230 V, 50 Hz AC;
- d) 690 V, 50 Hz AC;
- e) 1500 V DC.

Pro napájení jednotlivých technologických celků se používají zdroje 35/6 kV nebo 22/6 kV o těchto výkonech hlavních transformátorů: 4,0 MVA, 6,3 MVA a 10 MVA. [2]

3.3.2 Kompenzace jalové energie v elektrických sítích uhelných lomů

Z hlediska kompenzace jalové energie jsou technologická zařízení určená k dobývání, přepravě a zakládání těžných hmot největšími spotřebiči indukčního výkonu v uhelném lomu a představují asi 90 % spotřeby indukčního příkonu. [2]

Další technologická zařízení uhelného lomu jsou zařízení pro čerpání a úpravu důlních vod, dále dílenská zařízení pro opravy a údržbu a ze stavebních objektů to jsou administrativní budovy, kuchyně, apod. [2]

Lze předpokládat, že v uhelném lomu nebo v úpravně připadá z celkového indukčního příkonu asi 70 % až 80 % na asynchronní elektromotory, 15 % až 25 % na transformátory a 5 % na elektrická vedení.

Kompenzace indukčního výkonu na uhelných lomech a úpravnách se doporučuje provádět především pomocí statických kondenzátorů paralelně připojovaných ke spotřebičům jak při jednotlivé (individuální) kompenzaci, tak i při kompenzaci skupinové nebo ústřední (centrální).

Nezakazuje se, v případě vhodnosti, použít u technologických zařízení v uhelných lomech nebo úpravnách kompenzace indukčního výkonu pomocí rotačních kompenzátorů nebo synchronních strojů místo statických kondenzátorů. [2]

Technologické zařízení určené pro dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot dodávané pro uhelné lomy nebo úpravny, musí být výrobcem dodáváno včetně kompenzačního zařízení. [2]

Dobývací a zakládací stroje jsou kompenzovány tak, že hlavní pohonné jednotky 6 kV jsou kompenzovány jednotlivě (individuálně) a zbývající pohony skupinově na straně NN. [2]

Hlavní pohonné jednotky 6 kV na poháněcích stanicích pásové dopravy jsou kompenzovány jednotlivě (individuálně) tak, aby výsledný účinník se co nejvíce přiblížil hodnotě 0,95. [2]

Pohony vn hlavních čerpacích stanic jsou kompenzovány jednotlivě (individuálně) pomocí paralelně připojených kondenzátorů. [2]

Dílenská zařízení a ostatní povrchová zařízení bývají kompenzovány skupinově s automatickou regulací. [2]

Statické kondenzátory jsou představitelé nejjednodušších elektrických strojů, bez nároku na obsluhu, lze je dodatečně umístit všude tam, kde je potřebný prostor. Mohou se libovolně rozmístit po uhelném lomu nebo úpravně, do míst odběru jalové energie. Hodí se pro automatickou regulaci účinníku a mají malé ztráty. [2]

Pro kompenzaci indukčního výkonu se doporučuje přednostně používat statické kondenzátory paralelně připojené ke spotřebiči. [2]

Doporučuje se přednostně jednotlivá (individuální) kompenzace a to u všech větších spotřebičů indukčního výkonu, zejména u transformátorů a elektromotorů. [2]

Pokud výsledný účinník po jednotlivé (individuální) kompenzaci nedosáhne hodnoty 0,95 (např. u technologických celků pro dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot), doporučuje se provést dokompenzaci na straně 6 kV v přesuvných transformovnách 35/6 kV nebo 22/6 kV, které příslušný technologický celek napájí. V případě, že ani tato dokompenzace nezajistí výsledný účinník 0,95, je možné přistoupit k ústřední (centrální) dokompenzaci v hlavní transformovně uhlénohospodářského nebo úpravny. [2]

3.3.3 Volba přístrojové výzbroje a vedení

Statické kondenzátory nebo baterie z nich složené je třeba vyzbrojit spínacími a ochrannými přístroji. Volba těchto přístrojů se řídí odlišnými hledisky od těch, jež platí pro ostatní elektrické stroje. [2]

Při zapnutí kondenzátoru na elektrickou síť rozlišujeme dva krajní případy a to zapnutí ve chvíli, kdy napětí prochází nulou a zapnutí ve chvíli, kdy napětí prochází maximem. Při zapnutí v kterémkoliv jiném okamžiku bude přepětí a proud vždy mezi uvedenými krajními případy. [2]

Při zapnutí ve chvíli průchodu napětí nulou je přepětí celkem bezvýznamné, avšak amplituda proudu může být až dvojnásobná na rozdíl od ustáleného stavu. [2]

Při zapnutí v okamžiku, kdy je napětí maximální může napětí dosáhnout až dvojnásobku amplitudy v ustáleném stavu a proud může být několikanásobkem normálního. Ačkoliv mají tyto proudové nárazy velmi krátké trvání, mají nepříznivý vliv na spínací přístroje. [2]

Pojistky se volí především podle zkratového proudu v místě připojení. Jmenovitý proud vložky musí být větší než jmenovitý proud statického kondenzátoru a podle ČSN 33 3080 se dimenzuje takto:

- a) pomalé pojistkové vložky na 1,5 až 2násobek jmenovitého proudu statického kondenzátoru;
- b) normální (rychlé) pojistkové vložky na 2 až 2,5násobek jmenovitého proudu statického kondenzátoru. [2]

Pro kondenzátory VN se podle ČSN 33 3080 povoluje:

- a) jistění skupiny statických kondenzátorů o maximálním výkonu do 200 kvar z třífázových jednotek nebo do 150 kvar z jednofázových jednotek;

- b) kondenzátorovou baterii o vyšším výkonu je nutno vzhledem k jistění rozdělit na skupiny o výkonech uvedených v předchozím odstavci;
- c) kondenzátorové baterie o výkonu 500 kvar a více se doporučuje jistit nadproudovou ochranou. [2]

Následkem proudových nárazů při častém spínání a při provozních zvýšených napětích mohou být spojovací vedení statických kondenzátorů přetěžována. Proto musí být jejich vedení dimenzována na 143 % jmenovitého proudu statického kondenzátoru (nebo všech statických kondenzátorů) připojeného na toto vedení. [2]

3.3.4 Provoz a kontrola kompenzačního zařízení

S ohledem na životnost kondenzátorů se musí sledovat jejich provozní podmínky, tj. teplota, proud napětí.

Je nutné sledovat vliv připojení soustředěné kapacity na elektrickou síť, ve které může způsobit nežádoucí změnu provozních podmínek (např. přepětí při spínání, samobuzení strojů, zesílení vyšších harmonických apod.). [2]

Proud kondenzátoru je přímo úměrný napětí, kmitočtu a kapacitě.

Přetížení kondenzátoru může vzniknout buď vyšší hodnotou provozního napětí, nebo zvýšením napětí při vyšších harmonických. Velikost proudu kondenzátoru nesmí trvale překročit 143 % hodnoty proudu jmenovitého. [2]

Nejvyšší přípustná teplota nádoby smí být 60 °C.

Přestoupí-li proud kondenzátoru 143 % hodnoty jmenovitého proudu, aniž přitom napětí překročí hodnotu $1,1 U_n$, je třeba určit převažující harmonickou a pak provést opatření ke snížení proudu podle ČSN 33 3080. [2]

Za provozu se u kondenzátorů zpravidla kontroluje:

- a) napětí, zda není nepřipustně vysoké;
- b) proud, zda kondenzátor není přetížen (vyššími harmonickými) nebo naopak, zda jeho část není vyřazena přetavením pojistek uvnitř kondenzátoru. V případě, že měření proudu v jedné fázi prokáže úbytek hodnoty jmenovitého proudu kondenzátoru (výkonu) větší než 20 % jmenovité hodnoty, je zapotřebí kondenzátor odpojit a nahradit jiným.

U kondenzátorových baterií se provede výměna teprve tehdy, když úbytek kapacity celé baterie je vyšší než 20 % jmenovité hodnoty. [2]

Při jakékoliv práci na kondenzátorech dbáme bezpečnostních předpisů dle ČSN 34 3100. [2]

3.4 Popis způsobu napájení KU 800/20

Kolesové rýpadlo se připojuje na rozvodnou síť 35kV přívodním vlečným kabelem v napájecím bodě. V tomto případě jde o vlečný kabel 35kV CHBU 3x70mm²+3x16mm², který je připojen na vývod z výkonového vypínače DT. Maximální délka tohoto kabelu může být 7 500 m. Napájecí napětí rýpadla je dále vedeno přes odpojovač kabelového vozu (který je zavěšen na stroji) do propojovací skříně ve spodní stavbě. Z tohoto místa je pak vedeno přes kroužkový sběrač skrze otočnou desku do rozvodny 35kV, která je zabudována na vyvažovacím výložníku ve strojovně, kde jsou připojeny čtyři transformátory (T0101-T0104) 1600kVA, 35/6kV a třívintový transformátor (T0105) výkonu 1300kVA, 350000/525/231/133V, který zajišťuje napájení vlastní spotřeby stroje.

3.4.1 Instalovaný výkon (asynchronní motory) na KU800/20

Soustava (IT) 6kV	:	6 120 kW	Soustava (IT) 220V	:	172,1 kW
Soustava (IT) 500V	:	1 390 kW	Soustava (TN) 400V	:	360 kW
Soustava (IT) 690V	:	1 000 kW			

3.5. Profil společnosti SD a.s.:

Severočeské doly a.s., IČ 49901982, jsou společností, která vznikla dne 1. ledna 1994 rozhodnutím o privatizaci podstatné části majetku dvou státních podniků, Doly Nástup Tušimice a Doly Bílina, se sídlem v Chomutově. Společnost byla založena dle obchodního zákoníku č. 513/1991 Sb., ve znění pozdějších předpisů, v souladu s obecně závaznými předpisy platnými v České republice. Předmětem jejího podnikání je zejména těžba, úprava a odbyt hnědého uhlí a doprovodných surovin. Údaje o společnosti se zapisují do obchodního rejstříku vedeného Krajským soudem v Ústí nad Labem, v oddíle B, vložce 495. [3]

Svou těžební činnost provozují v Severočeské hnědouhelné pánvi na dvou odloučených lokalitách Tušimice a Bílina. Doly Bílina jsou producentem nízkosirnatého tříděného a energetického uhlí. Doly Nástup Tušimice produkují především energetické uhlí. Sortiment produkce je velmi široký a stejně široká a různorodá je i struktura odběratelů, kterým společnost garantuje kvalitu a standardy produkovaného uhlí. Společnost ročně produkuje řádově 20 mil. tun uhlí, čímž zaujímá vedoucí pozici na trhu. [3]

4. Základy kompenzace jalového výkonu Q

4.1 Základní informace

Hlavním smyslem kompenzace jalového výkonu je snížení odebíraného zdánlivého výkonu a snížení proudu procházejícího napájecím vedením. Kompenzace tedy patří mezi významná úsporná opatření, pomocí kterého se snižuje zatížení napájecího vedení, čímž se snižují ztráty a zvyšuje životnost vedení. Snížení odběru indukčního jalového výkonu se dosáhne vhodnou kombinací spotřebičů, které ze sítě odebírají indukční, jalový a kapacitní výkon.

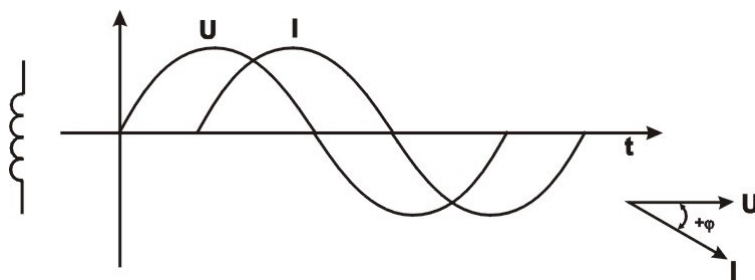
Spotřebiče, které potřebují ke své činnosti vytvořit magnetické pole, způsobují fázový posun mezi napětím napájecí sítě a jeho proudem. Jalový proud induktivního charakteru zvyšuje proud, který sítí protéká a tím i přenosové ztráty a úbytek napětí.

Účinník je funkce $\cos \varphi$, kde φ je úhel mezi fázorem proudu a napětí. Účinník z hlediska výkonů je definován_[4] :

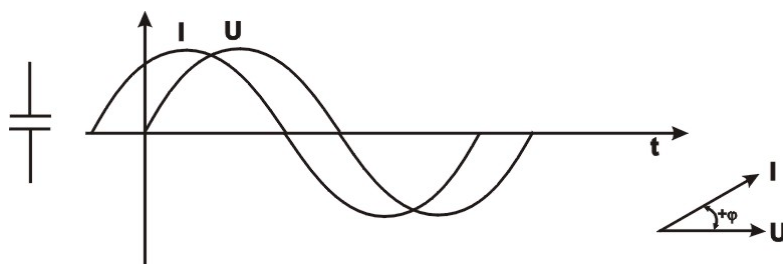
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.)$$

P ... činný výkon [kW]

S ... zdánlivý výkon [kVA]



Obr. 4-1 Posuv napětí a proudu induktivních spotřebičů



Obr. 4-2 Posuv napětí a proudu kapacitních spotřebičů

Jalový výkon je takový výkon, který se za vektorem napětí buď předbíhá o 90° a nebo opoždí. Jalový výkon, který je 90° za vektorem napětí nazýváme indukční jalový, výkon 90° před vektorem napětí pak nazýváme indukční kapacitní.

Protože se většinou měří činná a jalová energie (výkon), definuje se hodnota $\tan \varphi$.

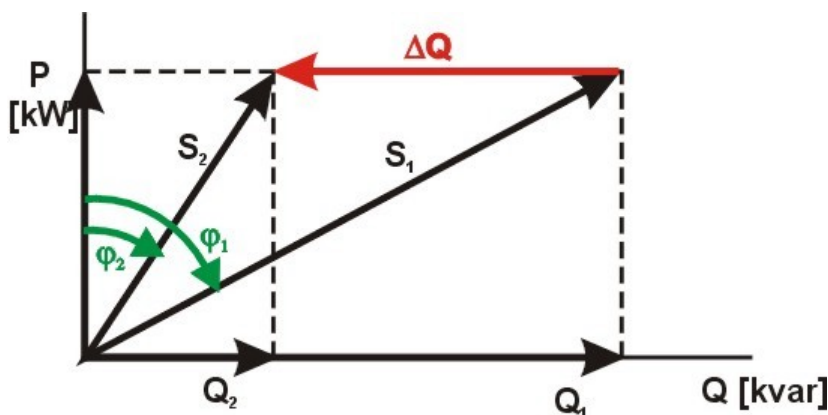
$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (2.)$$

Q ... jalový výkon [kvar]

P ... činný výkon [kW]

Uvedená definice účinku platí pouze na předpokladu sinusového průběhu proudu a napětí, není-li tato podmínka splněna, je definování složitější.

Snížením celkového zdánlivého proudu ve vedení, který je algebraickým součtem činného a jalového proudu, dosáhneme odlehčení napájecí vedení o přenášený indukční jalový výkon a tím pádem snížení jeho zatížení, úbytků napětí a prodloužení jeho životnosti.



Obr. 4-3 Snížení fázového posunu

Z obrázku vidíme, že kosinus úhlu φ je podíl činného výkonu k výkonu zdánlivému. Vložením kondenzátoru do obvodu se zdánlivým výkonem S_1 a účínkem $\cos \varphi_1$ snížíme jalový výkon Q_1 na hodnotu Q_2 . Snížení proběhlo za přispění jalového výkonu ΔQ dodávaného kondenzátorem.

Celkový jalový výkon Q

Celkový jalový výkon Q je dán součtem jalového výkonu základní vlny Q_1 a jalových výkonů všech harmonických složek vyšších i nižších.

Při uvažování vyšších harmonických se zavádí pojem **deformační výkon D** :

$$D = U \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad [VA; V, A] \quad (3.)$$

kde

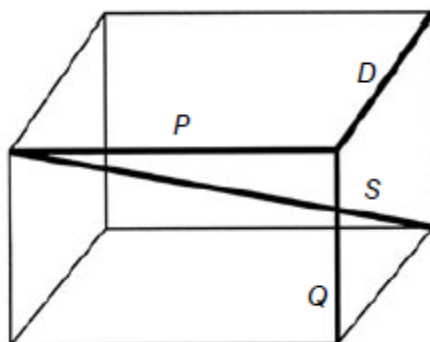
$h = 0$ je podíl střední hodnoty nižších harmonických,

$h = 1$ podíl základní vlny,

$h > 1$ podíl vyšších harmonických.

Celkový odebíraný zdánlivý výkon pak je:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2} \quad [V.A] \quad (4.)$$



Obr. 4-4 Grafické vyjádření vztahů mezi výkony při výskytu vyšších harmonických

Účinník λ (někdy zvaný opravdový účinník) je určen jako podíl činného a zdánlivého výkonu.

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad [-] \quad (5.)$$

4.1.1 Spotřebiče jalového výkonu

Asynchronní motory

Asynchronní motory jsou jedním z rozhodujících spotřebičů jalového induktivního výkonu potřebného k vytvoření točivého magnetického pole statoru a k pokrytí rozptylového magnetického toku. Štítkový údaj účinníku se vztahuje ke jmenovitému zatížení, hodnota závisí na konstrukci motoru (např. kroužkové motory nebo pomaloběžné mají horší účinník oproti motorům s kotvou nakrátko nebo rychloběžným). Podstatné je zvětšení odebíraného jalového výkonu a zhoršení účinníku s klesajícím zatížením motoru, zvláště při chodu naprázdno (60-70% příkonu motoru při plném zatížení). [6]

Asynchronní generátory

Asynchronní generátory odebírají z rozvodné sítě značný jalový indukční výkon pro vytvoření magnetického pole. [6]

Transformátory

Celkový odebíraný jalový výkon Q je tvořen z jalového výkonu při chodu naprázdno Q_0 , který je asi 1-3,5% jmenovitého výkonu transformátoru a z proměnného jalového výkonu pro pokrytí rozptylového magnetického toku, který se zvětšuje se čtvercem zatížení transformátoru. Hodnota účinníku při chodu transformátoru naprázdno je velmi malá, $\cos\varphi_0 = 0,1$ až $0,2$, tj. čistě jalové zatížení. Proto se vyžaduje kompenzace jalového proudu naprázdno transformátorů středo a velkoodběratelů s měřením jalové energie na sekundární straně transformátoru. Při průměrném zatížení 70% se celkový jalový výkon transformátoru pohybuje mezi 4-6% jmenovitého výkonu transformátoru. [6]

Výkonové polovodičové měniče

Jedná se o řízené a neřízené usměrňovače, měniče frekvence se stejnosměrným meziobvodem (napětovým nebo proudovým), přímé měniče frekvence, fázově řízené střídavé spínače apod.

Různé typy měničů se z hlediska odběru jalového výkonu liší, např. řízený polovodičový usměrňovač pro řízení ss motorů pracuje s účinníkem $\cos\varphi = 0,5$ i horším, avšak střídač s neřízeným usměrňovačem na vstupu a ss napětovým meziobvodem s šířkovou pulzní regulací napětí pro řízení otáček asynchronního motoru může pracovat s účinníkem $\cos\varphi = 0,95$ apod. Pro řízený polovodičový usměrňovač pro regulaci ss motorů platí, že účinník se zhoršuje s hloubkou regulace otáček a nepřímo s velikostí ss napětí naprázdno U_{d0} při úhlu řízení tyristorů $\alpha = 0$. [6]

Ostatní spotřebiče jalového výkonu

Jedná se zejména o výbojková a zářivková svítidla, svařovací transformátory navíc s rychle se měnícím odebíraným jalovým výkonem (svařovací lisy, bodovky), reaktory pro omezení zkratových proudů apod. [6]

Venkovní a kabelová vedení

Vedení spotřebují poměrně málo jalové energie, a to vlivem své indukčnosti a kapacity. U venkovních vedení (pod 200 km) převládá indukční složka a kapacitní je zanedbatelná. U kabelových vedení převládá naopak vliv kapacity (kapacita roste čím větší je průřez žil). Tato vlastnost kabelových sítí může vést při nesprávně provozovaných kompenzačních zařízeních (tj. trvale překompenzovaných) k nebezpečnému nárůstu kapacitního výkonu hlavně v sítích VN. [6]

Vzhledem k tomu, že kompenzace patří mezi významná úsporná opatření při rozvodu elektrické energie, dodavatel (za opory legislativy) vyžaduje odběr elektrické energie s induktivním účinníkem v pásmu 0,95-1, nižší hodnoty znamenající vyšší odebíraný jalový výkon jsou penalizovány. Na straně druhé však může nastat situace přebytku induktivního kapacitního výkonu (málo zatížená vedení, kapacitní spotřebiče), kterou nelze řešit kompenzací pomocí kondenzátorových baterií (neboť jsou také kapacitní spotřebiče). Způsobený přebytek kapacitního výkonu (jehož dodávka do sítě distributora je penalizována) je možné eliminovat např. pomocí dekompenzačních tlumivek.

4.2 Způsoby kompenzace

4.2.1 Sériová kompenzace

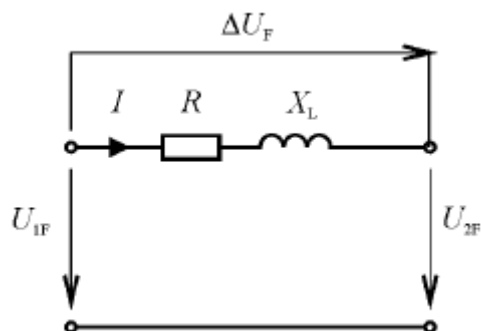
Při této kompenzaci se zlepšuje účinník, ale nemění se velikost procházejícího proudu. Nesnižují se tedy přenosové ztráty na vedení jako paralelní kompenzace.

Obvykle se používá pro kompenzaci vedení nebo kompenzaci transformátorů, napájecích vysokofrekvenční nebo obloukové pece.

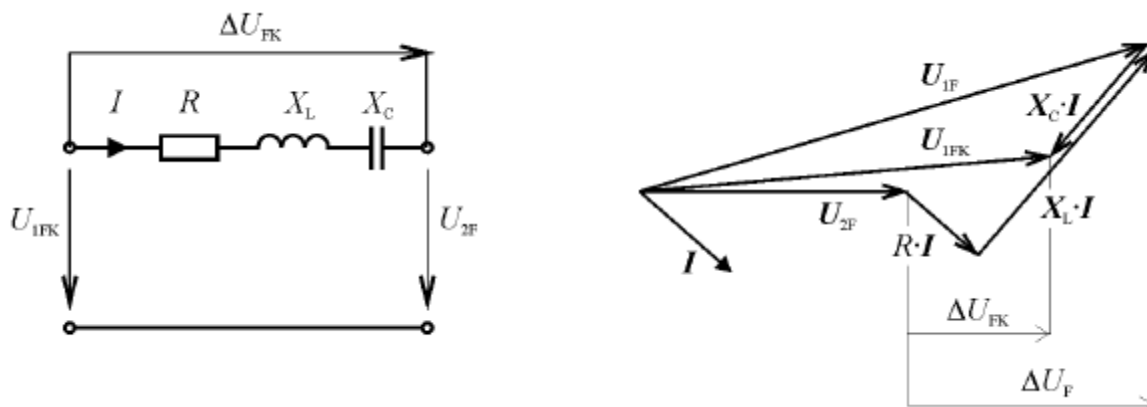
Nevýhodou je možnost vzniku přepětí nebo rezonančních jevů.

Výhodou je přirozená stabilizace napětí. Úbytky napětí na indukční reaktanci X_L a na kapacitní reaktanci X_C působí proti sobě (jsou v protifázi). Pokud se procházející proud např. zdvojnásobí, zdvojnásobí se také úbytky napětí jak na indukčnosti, tak na kapacitě. Úbytek napětí na indukčnosti je kompenzován úbytkem napětí na kapacitě. Koncový bod fázoru U_{1FK} tedy nemění svoji polohu. Napětí na spotřebiči se samočinně udržuje i při změnách zatížení. [9]

Největší nevýhodou této kompenzace je to, že při ní dochází ke zmenšení celkové reaktance obvodu, která má největší vliv na velikost zkratových proudů. Zkratové proudy jsou tedy větší. [9]



Obr. 4-5 Napěťové poměry před kompenzací

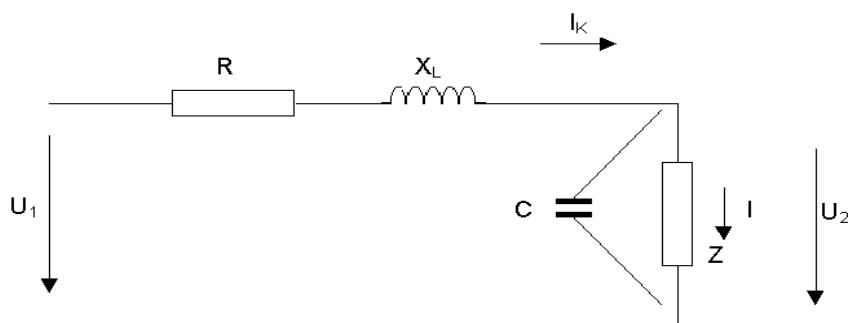


Obr. 4-6 Napěťové poměry po kompenzací a fázorový diagram

4.2.2 Paralelní kompenzace

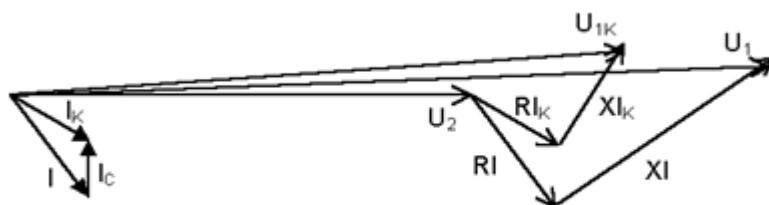
Nejpoužívanější metodou v sítích nízkého napětí je kompenzace pomocí paralelně připojených statických kondenzátorů, která je jedním z nejdůležitějších a ekonomicky nejvýhodnějších opatření.

Základní situaci lze u paralelní kompenzace vyjádřit následujícím schématem :



Obr. 4-7 Schéma paralelní kompenzace

Celý efekt paralelní kompenzace vyplývá z fázorového diagramu na obr. 8. Před kompenzací protéká vedením proud I . Tento proud protéká také zátěží (spotřebič Z) a vytváří na vedení příslušné úbytky napětí RI a $X_L I$. Po kompenzaci (připojení paralelního kondenzátoru) se vektorově sečte proud zátěže I s proudem kondenzátoru I_C , výsledný proud I_K pak protéká vedením a vytváří příslušné úbytky napětí RI_K a $X_L I_K$. [4]



Obr. 4-8 Fázorový diagram paralelní kompenzace

Tím dochází ke snížení úbytku napětí. Zároveň dojde ke snížení ztrát na vedení, protože absolutní hodnota proudu I_K je menší než absolutní hodnota proudu I a tak se zároveň zvýší průchodnost vedení. [4]

4.3 Metody kompenzace

Dle umístění kompenzačního zařízení (vzhledem ke spotřebiči) rozlišujeme tyto základní metody :

- a) individuální
- b) skupinovou
- c) centrální
- d) smíšená

4.3.1 Individuální kompenzace

Statické kondenzátory individuální kompenzace nízkého napětí se připojí buď na svorky motoru přímo nebo na výstupní doteky pojistek. U motorů vysokého napětí musí být kondenzátor opatřen pojistkami a vybíjecím zařízením. Kondenzátory se nevypínají, odpadá tedy údržba vypínacích zařízení, regulačních ústrojí atd. [4]

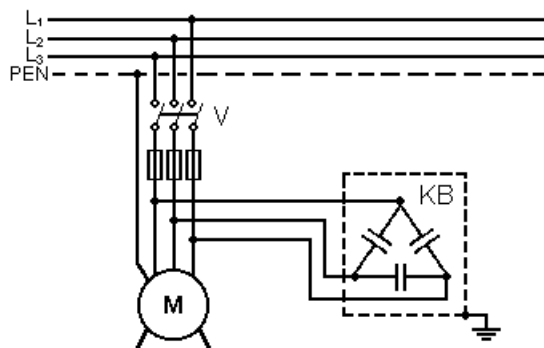
Výhody :

- induktivní výkon se kompenzuje přímo v místě vzniku,
- odlehčení přívodů a celé sítě, zmenšení ztrát ve vedení a úbytku napětí,
- při správně navržené kompenzaci nevznikne nebezpečí překompenzace,
- statický kondenzátor nepotřebuje zvláštní vypínač a u nízkého napětí ani pojistky a vybíjecí odpory,
- nevznikají spínací přepětí.

Nevýhody :

- malé využití instalovaného výkonu kondenzátorů u strojů s malou dobou využití,
- obtížnější kontrola při rozptýleném umístění kompenzovaných zařízení.

Tento způsob kompenzace je vhodný hlavně pro málo zatížené a krátkodobě, ale často spouštěné asynchronní motory se špatným účinníkem. [4]



Obr. 4-9 Příklad individuální kompenzace

4.3.2 Skupinová kompenzace

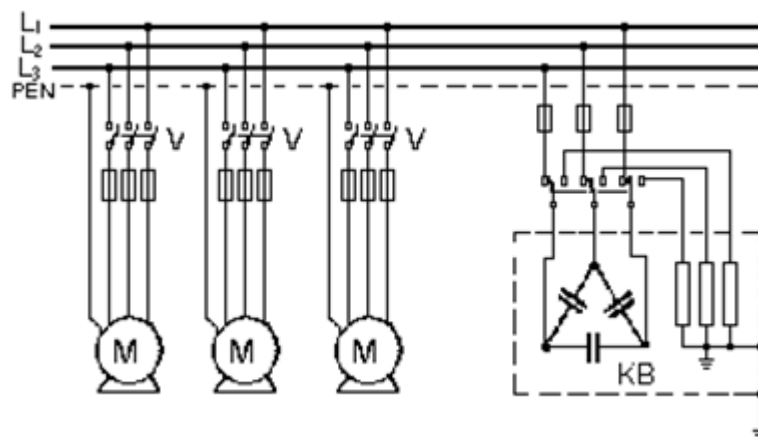
Statický kondenzátor nebo kondenzátorová baterie se u skupinové kompenzace připojuje na přípojnice skupinového rozváděče, který obvykle slouží pro spotřebiče jednotlivé dílny či objektu.

Výhody :

- velikost kapacitního výkonu je nižší než u individuální kompenzace vzhledem k soudobosti spotřebičů, tzn. lepší využití kondenzátorů,
- odlehčení napájecího vedení je až po skupinovou kompenzaci.

Nevýhody :

- vedení od skupinového rozváděče ke spotřebičům nejsou proudově odlehčena a tedy v nich nevznikají úspory ztrát a nezíská se zlepšení úbytků napětí,
- kondenzátory musí mít vypínače, pojistky a vybíjecí zařízení,
- je nutná regulace kompenzačního zařízení. [4]



Obr. 4-10 Příklad skupinové kompenzace

4.3.3 Centrální kompenzace

Při centrální kompenzaci se kompenzuje induktivní výkon pro celý závod v jednom místě, obvykle v rozvodně.

Výhody :

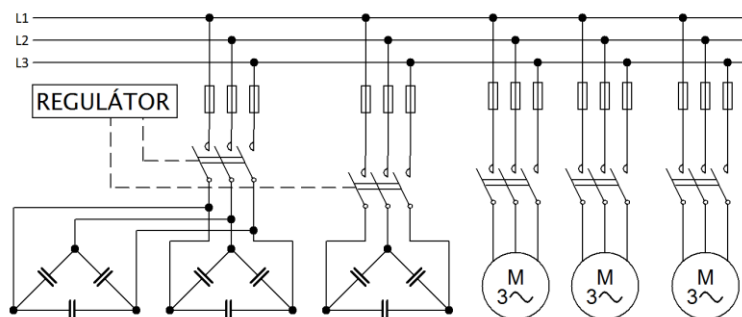
- velikost kondenzátorové baterie je ve srovnání s předchozími způsoby vlivem nesoučasnosti spotřebičů nejmenší a tedy využití je největší,
- kompenzační zařízení je přehledné - na jednom místě, tím je jeho kontrola snadnější.

Nevýhody :

- kondenzátorová baterie musí být opatřena složitou samočinnou regulací,

- rozvodná síť závodu není odlehčena od přenosu induktivního výkonu,
- obtížné zvětšování kompenzačního zařízení při rozšíření závodu.

V zájmu odlehčení části napájecího vedení se někdy připojuje kompenzační zařízení ne na hlavní, nýbrž na některý podružný rozváděč v místě největší spotřeby induktivního výkonu. Tento způsob kompenzace je zatím u nás nejrozšířenější. [4]



Obr. 4-11 Příklad centrální kompenzace

4.3.4 Rozdělení kompenzačního zařízení dle způsobu spínání

a) klasické kompenzátory – kondenzátorová baterie je připínána k síti pomocí stykače s odporovým spínáním, který omezuje přechodový jev. Klasické kompenzátory jsou vhodné do sítí s nízkým podílem nelineárních zátěží (bez harmonických frekvencí) a do prostředí, kde nehrozí vznik rezonance kapacity kompenzace s indukčností zátěže. Výhodou jsou malé ztráty a příznivá cena. [7]

b) hrazené (chráněné) kompenzátory – kondenzátorová baterie je zapojena sériově s tlumicí tlumivkou a tvoří tím LC obvod pracující jako širokopásmový filtrační obvod pro harmonické nad rezonančním kmitočtem obvodu. Hrazené kompenzátory jsou určeny do sítí s vyšším podílem nelineárních zátěží a do prostředí kde hrozí nebezpečí vzniku rezonance kompenzační kapacity s indukčností zátěže nebo transformátoru. Připínání k síti je pomocí stykače s odporovým spínáním omezující přechodový jev, ovládaný regulátorem jalového výkonu. [7]

c) hrazené (chráněné) kompenzátory s bezkontaktním spínáním – kondenzátorová baterie je zapojena sériově s tlumicí tlumivkou a tvoří tím LC obvod pracující jako širokopásmový filtrační obvod pro harmonické nad rezonančním kmitočtem obvodu. Hrazené kompenzátory jsou určeny do sítí s vyšším podílem nelineárních zátěží a do prostředí kde hrozí nebezpečí vzniku rezonance kompenzační kapacity s indukčností zátěže nebo transformátoru. Připínání k síti je však řešeno pomocí tyristorových spínačů bez přechodových jevů. Vysoká rychlost regulace (teoreticky je dána frekvencí sítě tzn. až 20ms, typicky 80ms s nastavitelnou prodlevou) a kvalita kompenzace vyváží vyšší pořizovací náklady na kompenzaci. [7]

d) filtračně kompenzační zařízení – je zařízení individuálně konstruované na základě měření rozvodné soustavy. Kompenzační filtr tvoří sériový rezonanční LC obvod naladěný na harmonickou frekvenci (rezonanční frekvenci), při které má minimální impedanci a tím filtruje harmonické proudy, vznikající na různých zařízeních připojených na síť. Tento LC obvod se připojuje paralelně k rozvodové soustavě co nejbližší místu vzniku harmonických frekvencí. Pro harmonické nižší než je rezonanční frekvence se však chová jako kompenzační obvod, tedy pouze kompenzuje jalový výkon. [7]

e) dekompenzační zařízení - jsou určené pro kompenzaci kapacitního proudu, který vzniká na prvcích rozvodové soustavy (např. kabely, dlouhá vedení naprázdno apod.). Dodává do sítě induktivní výkon. Řízení probíhá nejčastěji spínáním jednotlivých kompenzačních tlumivek (dříve dekompenzačních) a je vhodné je kombinovat s kondenzátorovou kompenzací. [7]

4.4 Prostředky kompenzace

4.4.1 Kondenzátory nn

V dnešní době je pro výrobu nízkonapětových kompenzačních kondenzátorů nejčastěji používán systém MKP. Svitky jsou tvořeny jednostranně pokoveným polypropylenovým filmem. Jedná se o suchý systém plněný pevnými hmotami rostlinného původu nebo netečnými plyny. Všechny náplně musejí být ekologicky nezávadné. Dielektrický systém MKP je samoregenerační což znamená, že při průrazu dielektrika se pokovená vrstva odpaří. Vznikne pouze malá izolační plocha, která nemá vliv na další funkčnost kondenzátoru. Kompenzační kondenzátory nn různých výkonů jsou na obr. 4-12 . [5]



Obr. 4-12 Kompenzační kondenzátory nn

Pro vybití kondenzátoru slouží integrované vybíjecí rezistory. Ty by měly být schopny snížit nebezpečné zbytkové napětí na kondenzátoru minimálně na 75 V během tří minut. Působením tepelného nebo elektrického přetížení může u kondenzátoru dojít i k explozi. Z tohoto důvodu je v kondenzátoru použita přetlaková pojistka. Zvyšující se tlak v kondenzátoru při jeho namáhání způsobí nadzvedávání víka a dojde tak k mechanickému přetržení přívodů ke svítkům. K jistění kondenzátorů se používají i běžné pojistky podle doporučení výrobce. Nejčastěji to jsou pojistky s pomalými charakteristikami (gG) se jmenovitým proudem rovným alespoň 1,3 násobku jmenovitého proudu kondenzátorů. [5]

4.4.2 Kondenzátory vn

Dielektrikem těchto kondenzátorů je polypropylenová fólie impregnovaná ekologicky nezávadnou syntetickou kapalinou. Elektrody tvoří hliníková fólie. Ztráty jsou přibližně stejné jako u kondenzátorů na nízké napětí. Kondenzátory vn jsou konstruovány jako jednofázové nebo třífázové zapojené do hvězdy. Stejně jako kondenzátory nn jsou vybaveny vnitřními vybíjecími rezistory. Doba vybití na stanovených 75 V je až 10 minut. Jejich bezpečný provoz lze rovněž zajistit tlakovým čidlem. Další udávané katalogové hodnoty jsou obdobné jako u kondenzátorů nízkého napětí. Kompenzační kondenzátory vn různých výkonů a počtu fází jsou na obr. 4-13 . [5]



Obr. 4-13 Kompenzační kondenzátory vn

4.4.3 Rotační kompenzátory

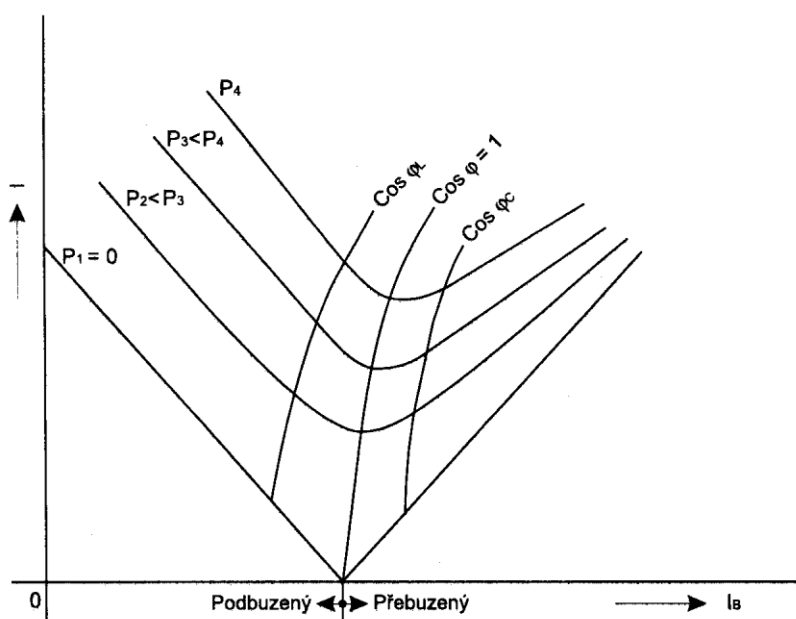
Rotační kompenzátory jsou synchronní motory, které běží naprázdno v přebuzeném stavu. Kompenzační výkon se mění plynule buzením těchto strojů, což je výhoda těchto kompenzátorů. Nevýhodou jsou poněkud větší činné ztráty (2 – 8 % jmenovitého výkonu) a přítomnost rotačních částí. Oproti statickým kompenzátorům jsou rotační kompenzátory náročnější na údržbu. [4]

4.4.4 Synchronní motory

Synchronní motory v přebuzeném stavu rovněž dodávají do sítě jalovou energii. Jejich hodnocení je shodné se synchronními kompenzátory s tím rozdílem, že ještě předávají mechanický výkon na hřídeli. [4]

Synchronní elektromotory se používají v aplikacích, kde lze očekávat poměrně stabilní zátěžný moment, tedy například pro pohony čerpadel, kompresorů, ventilátorů, rotačních pecí apod. Měníme-li velikost budicího proudu při stálém napájecím napětí o stálém kmitočtu, je za předpokladu konstantního zátěžného momentu stálý i činný výkon motoru. Změnou velikosti budicího proudu ale můžeme měnit účinník odběru motoru, a to jak v oblasti induktivní, tak i v oblasti kapacitní.

Závislost proudu statoru na budicím proudu při stálém výkonu má tvar tzv. V-křivek – viz obr.4-14 [4]



Obr. 4-14 V-křivky synchronního stroje

K dosažení stálého účinníku při různém zatížení je třeba vhodným způsobem řídit budicí proud. Regulátory, jimiž se synchronní motory často osazují, mohou zajistit chod motoru i při změnách činného zatížení buď z konstantním účinníkem, nebo konstantním jalovým výkonem. [4]

Těchto vlastností synchronních motorů lze velmi účelně využít ke kompenzaci jalového výkonu paralelně připojených spotřebičů. V případě, že je to ekonomicky zdůvodnitelné jsou pro kompenzaci jalového výkonu používány synchronní kompenzátory. Jsou to vlastně synchronní motory pracující naprázdno, tedy z minimálním činným výkonem a relativně z velkým rozsahem regulace jalového výkonu. [4]

Vzhledem k vysokým jednotkovým výkonům synchronních strojů (přibližně od 1 do 15 Mvar) a pomalejší regulaci jalového výkonu oproti jiným kompenzačním zařízením se tyto stroje využívají jako centrální kompenzace velkých průmyslových sítí. Připojují se k přípojnícím podružných

průmyslových rozvodů 6 kV nebo přes samostatný transformátor 22/6 kV k přípojným hlavním rozvodům. [4]

Kompensace jalového výkonu pomocí synchronních strojů je v poslední době v útlumu. Provoz synchronních strojů je spojen se spotřebou činné energie, vyššími nároky na údržbu zařízení a v neposlední řadě vyššími nároky na obestavěný prostor a jeho vybavenost oproti kompenzačním zařízením statickým. [4]

5. Kompensace KU800/20 - současnost

5.1 Synchronní rotační kompenzátor 1HKY 5657/6

V současné době je kompensace účinníku prováděna na hodnotu $\cos\varphi = 0,95$ použitím centrálně rotačního synchronního kompenzátoru výše zmíněného typu o výkonu 2 660 kvar.

Štítkové hodnoty :

- $U_N = 6000 \text{ V}$, $I_N = 257 \text{ A}$, otáčky 1000 min^{-1} , $I_b = 82 - 275 \text{ A}$, $U_b = 14-60 \text{ V}$
- tvar stroje IM 1002 v provedení IP42

Tento kompenzátor je umístěn i s rozvaděčem regulace ve strojovně velkstroje , která se nachází na vyvažovacím výložníku. Zde (pole RM 2.12) je napojen přes odpojovač, vypínač a rozběhovou tlumivku na rozvodnou soustavu 6 kV. Vypínač kompenzátoru je vybaven střadačovým pružinovým a motorickým pohonem , zapíná a vypíná se ručně . Je osazen podpětovou cívkou, na kterou působí celá řada jisticích a kontrolních prvků. Řízení kompenzátoru je provedeno třífázovým tyristorovým usměrňovačem, který je napájen řídicím proudem z proudových transformátorů napájení rypadla z nadřazené rozvodné soustavy 35 kV. Rozběh kompenzátoru, jeho nabuzení a regulace účinníku jsou prováděny automaticky, jen požadovaná hodnota $\cos\varphi$ se nastavuje manuálně a to zpravidla při maximálním výkonovém zatížení rypadla.

V blízké budoucnosti by se mělo přistoupit na jeho výměnu z níže popsaných důvodů. Tato diplomová práce by měla, v lepším případě, ukázat směr k neoptimálnějšímu návrhu způsobu řešení kompensace jalové energie a tím by měla být kombinace individuální kompensace jednotlivých asynchronních 6 kV motorů dopravní linky a použitím hrazeného spínaného kompenzačního rozvaděče, kterým by se dokompenzoval jalový výkon ve zbývajících spotřebě stroje.

5.2 Důvody ke změně

Hlavními důvody k náhradě jsou zejména :

a) Náročné podmínky těžby, kdy se neustále mění výkonové zatížení stroje, které je ovlivněno celou řadou provozních faktorů jako je například objem dobývané horniny, její tvrdost, zvolený způsob technologie dobývání nebo časté transporty stroje, což znamená opětovné zapínání a vypínání dopravních linek včetně motorů kola.

Obecně, synchronní stroje nejsou vhodné ke kompenzaci spotřebičů, jejichž spotřeba jalového výkonu se dynamicky mění . V těchto případech dochází v době, než synchronní stroj díky zpoždění zvýší svůj kompenzační výkon, k nedokompenzování, zatímco ještě po jistou dobu, kdy již potřeba kompenzačního výkonu pominula, dále tento výkon dodává. To má negativní dopad na výsledné kolísání napětí, které na změnách jalového výkonu závisí. [4]

b) Časté poruchy elektronických součástek v okruhu budiče, kompenzátor vypadává ze synchronismu, což se projevuje zvýšeným napětím v rozvodné soustavě, které může způsobit nežádoucí stavy na ostatním elektrozařízení velkstroje.

c) Účinky značných otřesů při provozu rýpadla, které působí velké namáhání a následnou deformaci strojních součástí kompenzátoru, ale dochází i k uvolňování svorek, spojů a uchycení kabelových vedení a jejich poškození.

d) Náročnost údržby a zajištění případné opravárenské činnosti.

6. Individuální kompenzace 6 kV motorů dopravní linky(DL)

6.1 Provedené měření v rozvodu 6 kV DL

Základem k návrhu řešení kompenzace bylo měření elektrických parametrů elektromotorů 6 kV DL, které jsem provedl během běžné ranní směny v době od 10,00 do 11,00 hod. dne 2.4.2014. Místem měření byla vn rozvodna, která je umístěna ve strojovně stroje .

6.1.1 Popis měřené technologie

Elektromotory 6 kV slouží pro pohon dopravní linky na rýpadle KU 800/20. Součástí této DL je šest pohonů těchto pásů:

1) nakládací pás :

3f AM s kroužkovou kotvou 2 x 630 kW, typ 1YG-710M-6, $U_N = 6 \text{ kV}$, $I_N = 72,3 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,87$, 990 otč./min. Motory jsou napájeny z rozvaděče RM3.10 a RM3.11, přes odpojovače Q1601 a Q1602 a přes stykače K1614 a K1616. Rozvaděč RM3 je v rozvodně 6 kV ve strojovně. Rotorové spouštěcí odpory R1609 až R1614 a rozvaděč RM8.2 s rotorovými stykači motorů, jsou v rozvodně na otočné desce.

2) předávací pás :

3f AM s kroužkovou kotvou 2 x 160 kW, $U_N = 500 \text{ V}$.

V rámci tohoto měření nebyly analyzovány.

3) zadní pás :

3f AM s kroužkovou kotvou 1 x 630 kW, typ 1YG-710M-6, $U_N = 6 \text{ kV}$, $I_N = 72,3 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,87$, 990 otč./min. Motor je napájen z rozvaděče RM3.9 , přes odpojovač Q1401 a přes stykače K1411. Rozvaděč RM3 je v rozvodně 6 kV ve strojovně. Rotorové spouštěcí odpory R1406 až R1408 a rozvaděč RM8.1 s rotorovými stykači motorů, jsou opět umístěny v rozvodně na otočné desce.

4) přední pás :

3f AM s kroužkovou kotvou 1 x 630 kW, typ 1YG-710M-6, $U_N = 6 \text{ kV}$, $I_N = 72,3 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,87$, 990 otč./min. Motor je napájen z rozvaděče RM3.8 , přes odpojovač Q1301 a přes stykače K1311.

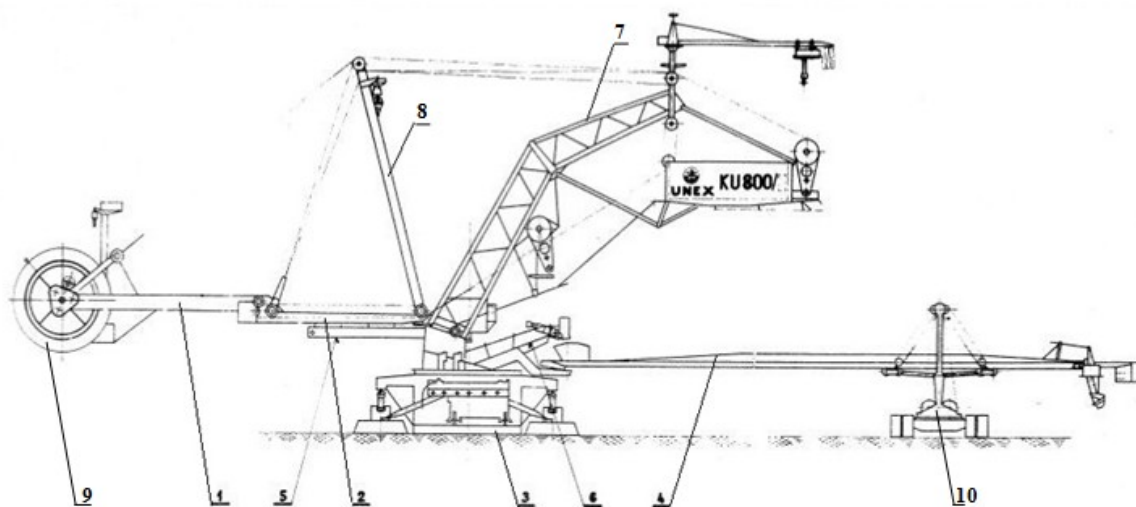
Rotorové spouštěcí odpory R1304 až R1306 jsou umístěny v rozvodně nn ve strojovně, kde je také rozvaděč RM9, v jehož 6. poli jsou příslušné rotorové stykače a ovládací relé.

5) pohon kola :

2 x 1000 kW, AM- 3fázový s kotvou nakrátko, typ ARN 630 Y-6, $U_N = 6 \text{ kV}$, $I_N = 117,3 \text{ A}$,
 $\cos\phi = 0,85$, 990 otč./min.

Na hřídele motorů jsou nasazeny hydrospojky, které jsou krátkými kardanovými hřídeli připojeny do společné převodovky. K rozběhu těchto motorů slouží dva softstartéry SMC DIALOG PLUS 1560D, 6,6 kV, 400 A od fa. Rockwell, které jsou umístěny v rozvodně strojovny v rozvaděčích RT1 a RT2.

Rozjezd DL je, po navolení příslušného režimu řidičem velkostroje a splněních aktivačních podmínek, spuštěn automaticky. Po sepnutí stykačů motorů nakládacího pasu a sepnutí relé jejich plného běhu, které spíná kontakt ovládání předávacího pasu se roztočí motory tohoto pasu. Po té se sepne stykač motoru zadního a posléze předního pasu. V okamžiku plného běhu všech motorů DL dojde k rozběhu motorů kola, které se spouštějí s časovou prodlevou jednotlivě.



Obr. 6-1 Konstrukce kolesového rýpadla KU800/20

Legenda :

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1- přední pas | 6- předávací pas |
| 2- zadní pas | 7- vyvažovací výložník |
| 3- kráčivý podvozek | 8- držící výložník |
| 4- nakládací výložník | 9- koleso |
| 5- podpěrná konstrukce zadního pasu | 10- podpěrný vůz |

6.1.2 Popis měřicí aparatury

Pro účely tohoto měření bylo odstaveno stávající kompenzační zařízení. K měření parametrů elektromotorů byl použit analyzátor napájecích sítí PNA 550. Jako příslušenství byly použity napěťové sondy a proudové měniče MN s rozsahem do 5 A.

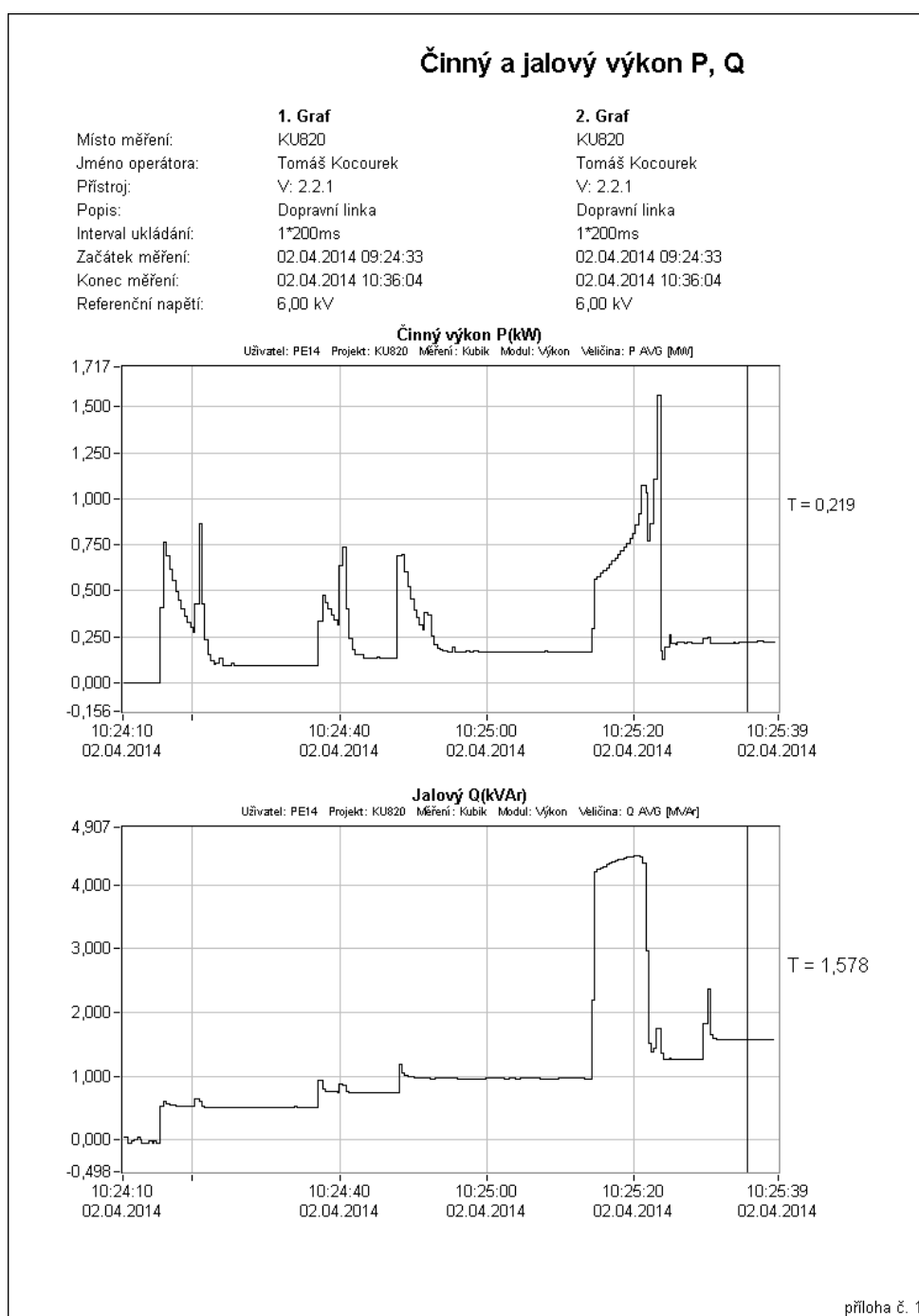
Připojení aparatury, napěťových sond a proudových měničů bylo provedeno v příslušném nn rozvaděči RM 2.4. Napětí bylo snímáno na kontaktech pojistek 100 V sítě. Proudů bylo snímáno na svorkovnici X2 ze svorek 85, 87, 89.

Do příslušného rozvaděče byla připojena měřicí aparatura, napěťové sondy a proudové měniče.

Pro jejich umístění byly respektovány fáze L1, L2 a L3 a směry toků proudů jednotlivých fází.

V rámci měření byly snímány hodnoty napětí 3 x 100 V s převodem 6000/100 V a hodnoty proudů 3 x 5 A s převodem 400/5 A. Z těchto hodnot byly následně vypočteny a vytvořeny grafy (viz . níže).

6.1.3 Výsledky měření



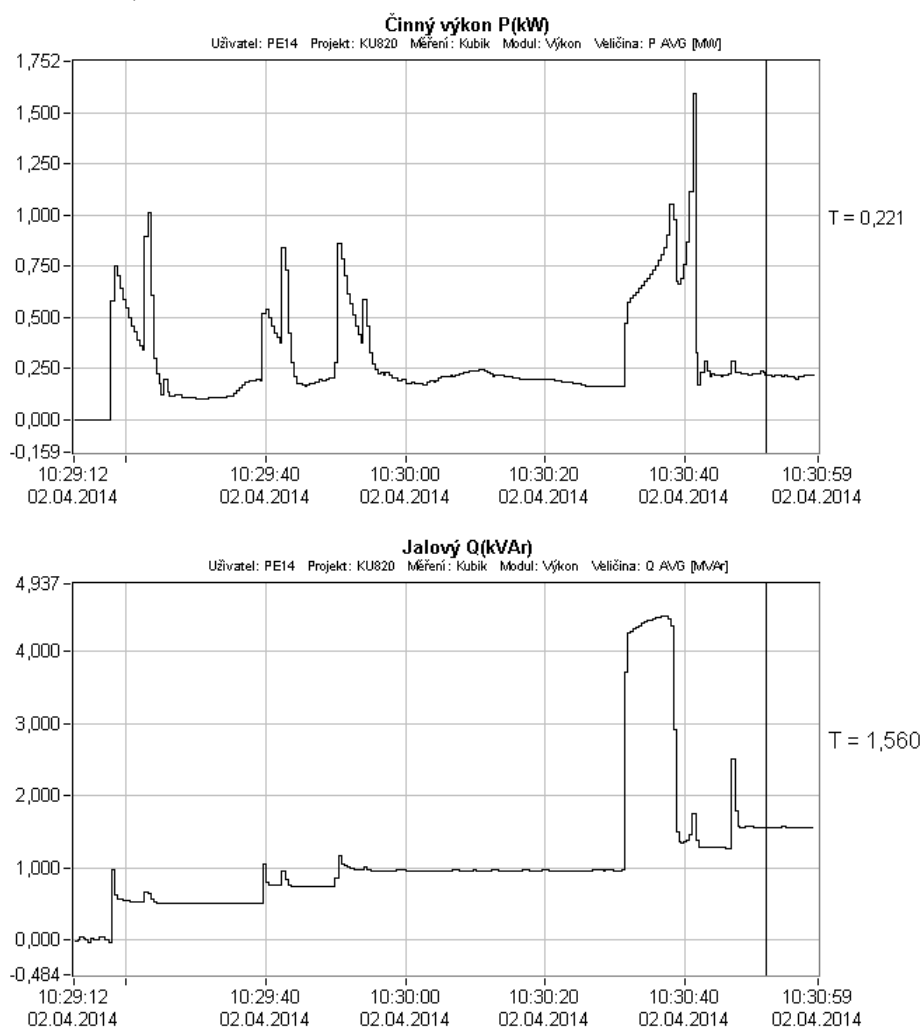
Obr. 6-2 Rozběh DL bez materiálu

Příloha č. 1

Uvádí průběhy P a Q při rozběhu DL naprázdno (bez materiálu). V horním grafu (obr.6-2) jsou uvedeny hodnoty činného výkonu. Ty v průběhu měření při rozběhu pohonu kola dosahují až 1,6 MW. Ve spodním grafu je uveden průběh jalového výkonu. Ten dosahuje ve stejném provozním režimu až 4,5 Mvar. Při již rozjeté dopravní lince hodnoty P a Q dosahují hodnot 219 kW respektive 1,578 Mvar.

Činný a jalový výkon P, Q

	1. Graf	2. Graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Tomáš Kocourek	Tomáš Kocourek
Přístroj:	V: 2.2.1	V: 2.2.1
Popis:	Dopravní linka	Dopravní linka
Interval ukládání:	1*200ms	1*200ms
Začátek měření:	02.04.2014 09:24:33	02.04.2014 09:24:33
Konec měření:	02.04.2014 10:36:04	02.04.2014 10:36:04
Referenční napětí:	6,00 kV	6,00 kV



příloha č. 2

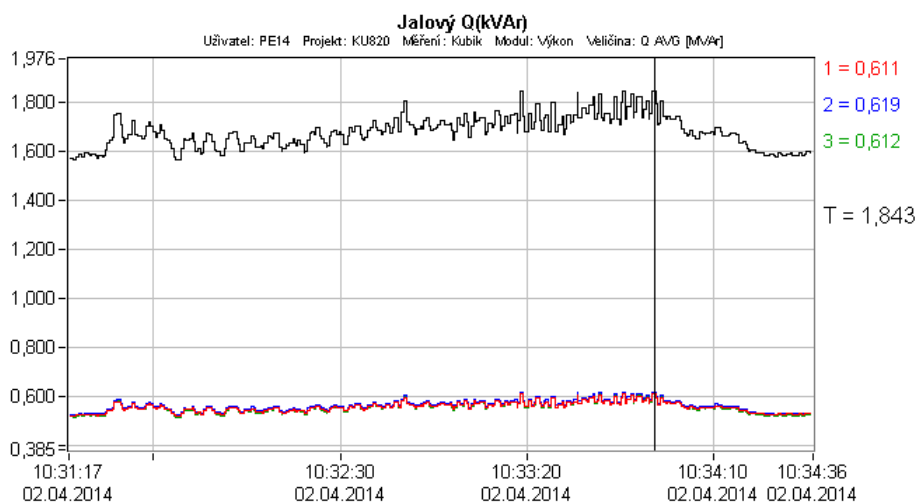
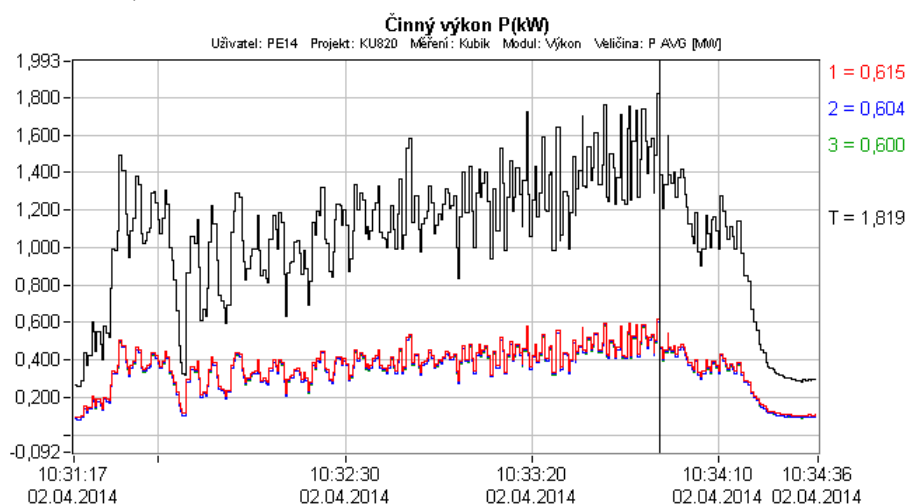
Obr. 6-3 Rozběh DL s materiálem

Příloha č. 2

Uvádí průběhy P a Q při rozběhu dopravní linky s materiálem. V horním grafu (obr.6-3) jsou uvedeny hodnoty činného výkonu. Ve spodním grafu je uveden průběh jalového výkonu. Hodnoty obou měřených veličin jsou v obou provozních režimech téměř shodné, tzn. naplnění dopravní linky nemá na hodnoty a odběr P a Q téměř žádný vliv.

Činný a jalový výkon P, Q

	1. Graf	2. Graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Tomáš Kocourek	Tomáš Kocourek
Přístroj:	V: 2.2.1	V: 2.2.1
Popis:	Dopravní linka	Dopravní linka
Interval ukládání:	1*200ms	1*200ms
Začátek měření:	02.04.2014 09:24:33	02.04.2014 09:24:33
Konec měření:	02.04.2014 10:36:04	02.04.2014 10:36:04
Referenční napětí:	6,00 kV	6,00 kV



příloha č. 3

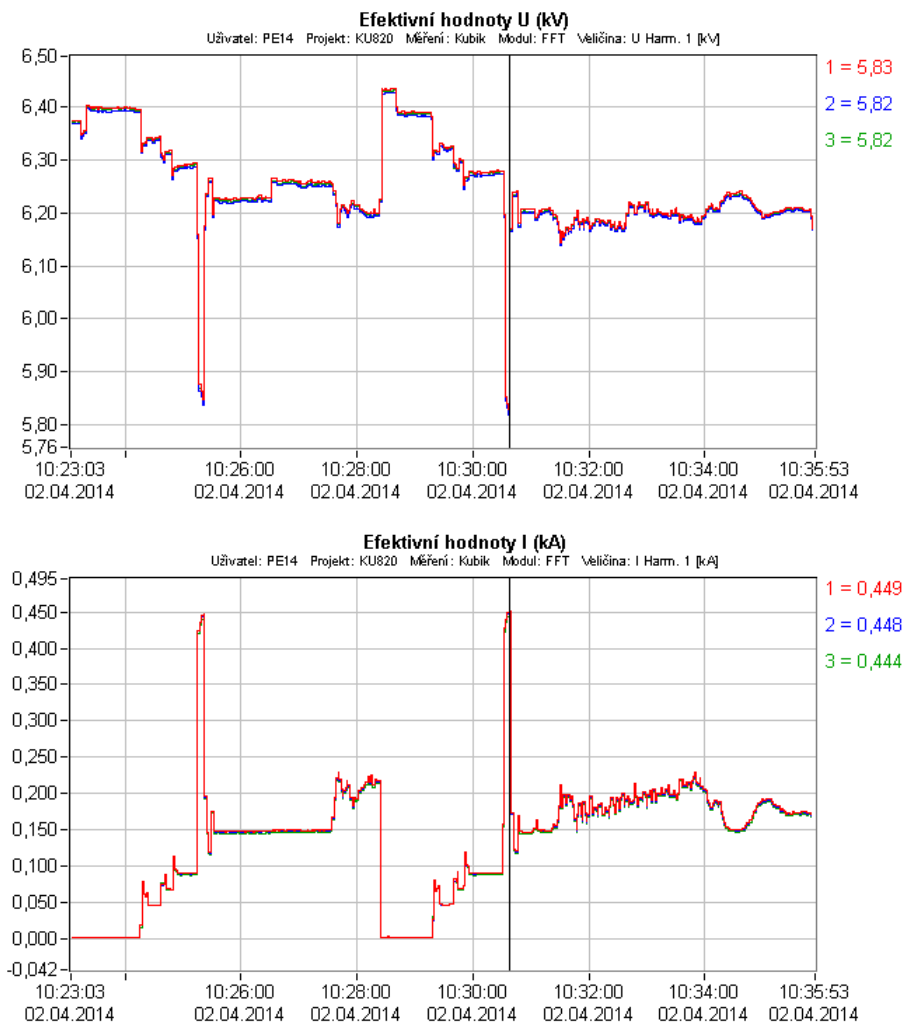
Obr. 6-4 Výkony DL P a Q při těžbě

Příloha č. 3

Uvádí průběhy P a Q při těžbě a zaplnění dopravní linky materiálem. V horním grafu (obr.6-4) jsou uvedeny hodnoty činného výkonu. Maximální dosažená hodnota přesahuje 1,8 MW. Ve spodním grafu je uveden průběh jalového výkonu. Hodnota jalového výkonu přesahuje ve stejném provozním režimu a ve stejném čase 1,8 Mvar.

Efektivní hodnoty U a I

	1. Graf	2. Graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Tomáš Kocourek	Tomáš Kocourek
Přístroj:	V: 2.2.1	V: 2.2.1
Popis:	Dopravní linka	Dopravní linka
Interval ukládání:	1*200ms	1*200ms
Začátek měření:	02.04.2014 09:24:33	02.04.2014 09:24:33
Konec měření:	02.04.2014 10:36:04	02.04.2014 10:36:04
Referenční napětí:	6,00 kV	6,00 kV



příloha č. 4

Obr. 6-5 Efektivní hodnoty napětí a proudu

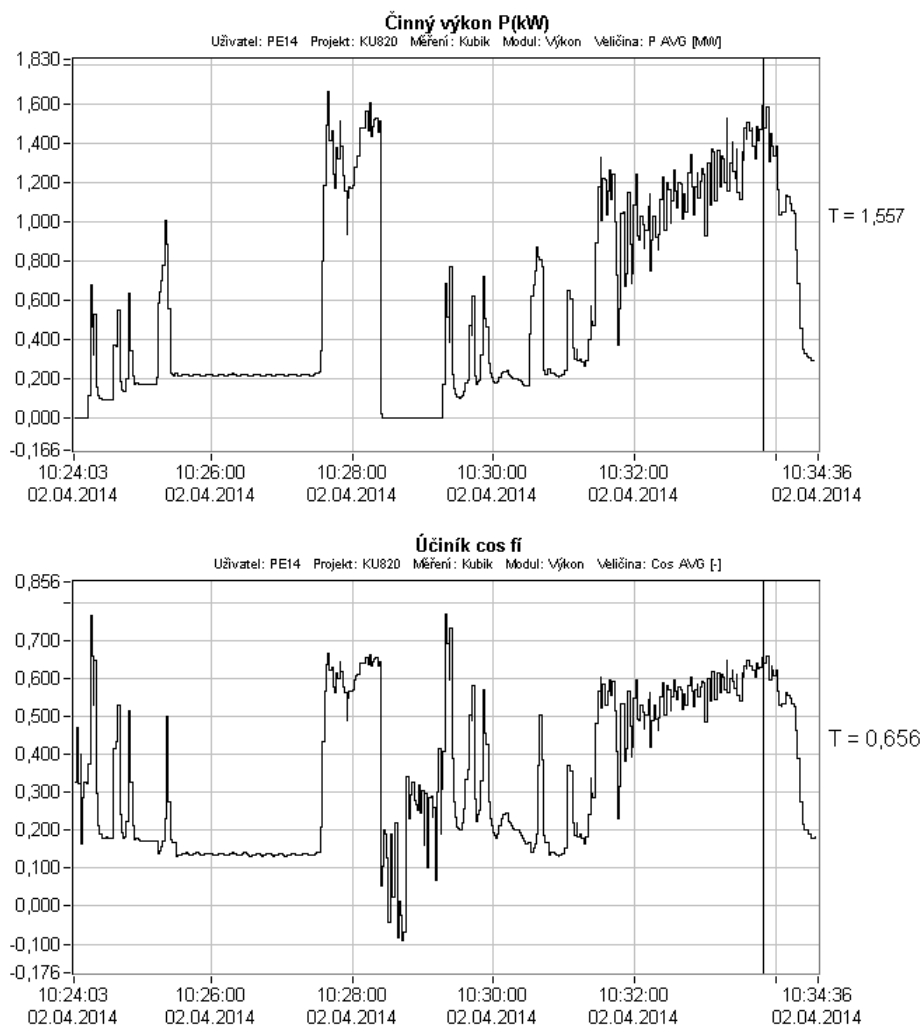
Příloha č. 4

V horním grafu (obr.6-5) jsou uvedeny efektivní hodnoty sdruženého napětí napájecí soustavy 3 x 6000 V. Ty se v průběhu měření pohybují v mezích od 6150 V při těžbě do 6430 V při vypnuté DL. Pouze při rozběhu vždy prvního z pohonů kola dochází k poklesu napětí až na 5800 V.

Ve spodním grafu jsou zobrazeny průběhy efektivních hodnot proudu. Při rozběhu pohonů kola dosahují hodnoty až 450 A.

Činný výkon a účinník cos φ

	1. Graf	2. Graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Tomáš Kocourek	Tomáš Kocourek
Přístroj:	V: 2.2.1	V: 2.2.1
Popis:	Dopravní linka	Dopravní linka
Interval ukládání:	1*200ms	1*200ms
Začátek měření:	02.04.2014 09:24:33	02.04.2014 09:24:33
Konec měření:	02.04.2014 10:36:04	02.04.2014 10:36:04
Referenční napětí:	6,00 kV	6,00 kV

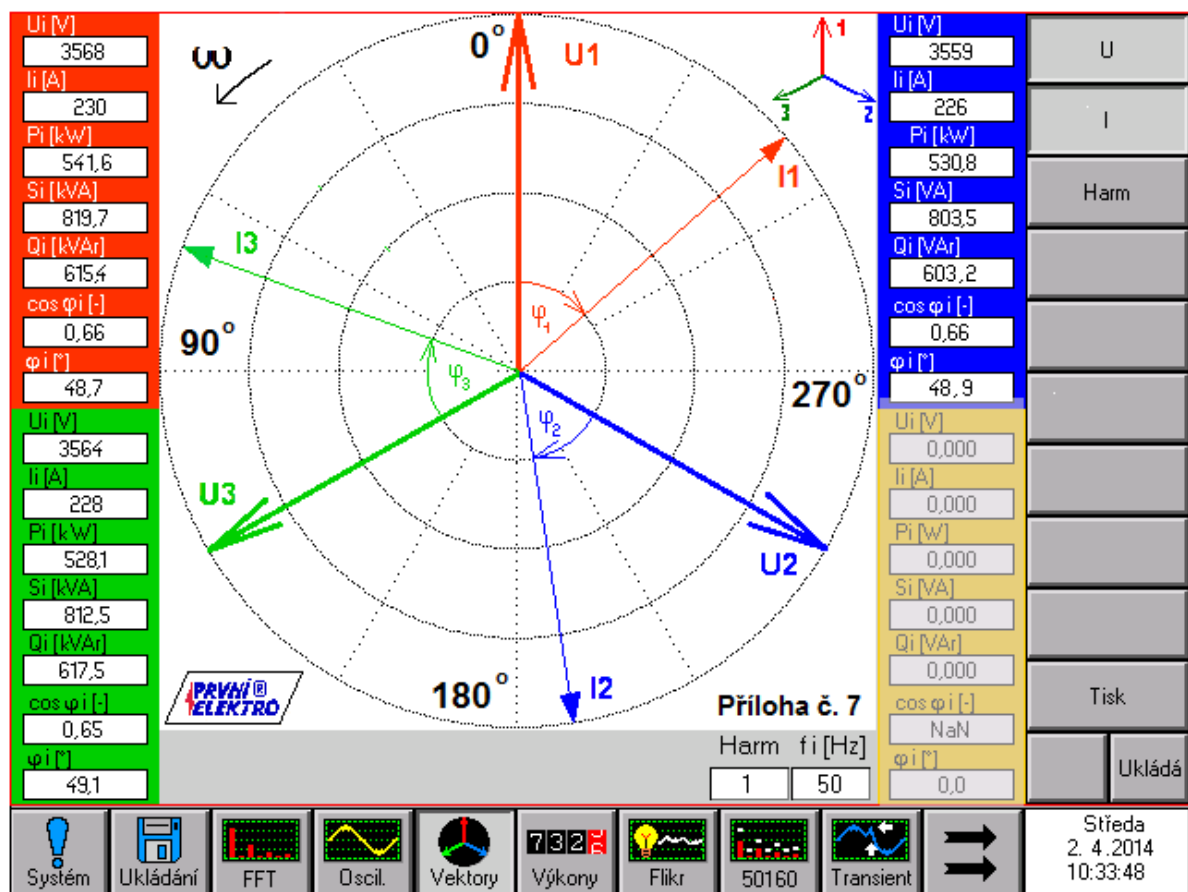


příloha č. 5

Obr. 6-6 Činný výkon a průběh cos φ

Příloha č. 5

V horním grafu přílohy (obr.6-6) je uveden celkový činný výkon odebíraný z napájecí sítě 3x 6 kV po celou dobu měření. Ve spodní části přílohy je zobrazen průběh účinníku první harmonické cos φ. Z grafů je patrné, že i při největších odběrech činného výkonu z napájecí sítě dosahuje hodnota účinníku pouze 0,65.



příloha č.6

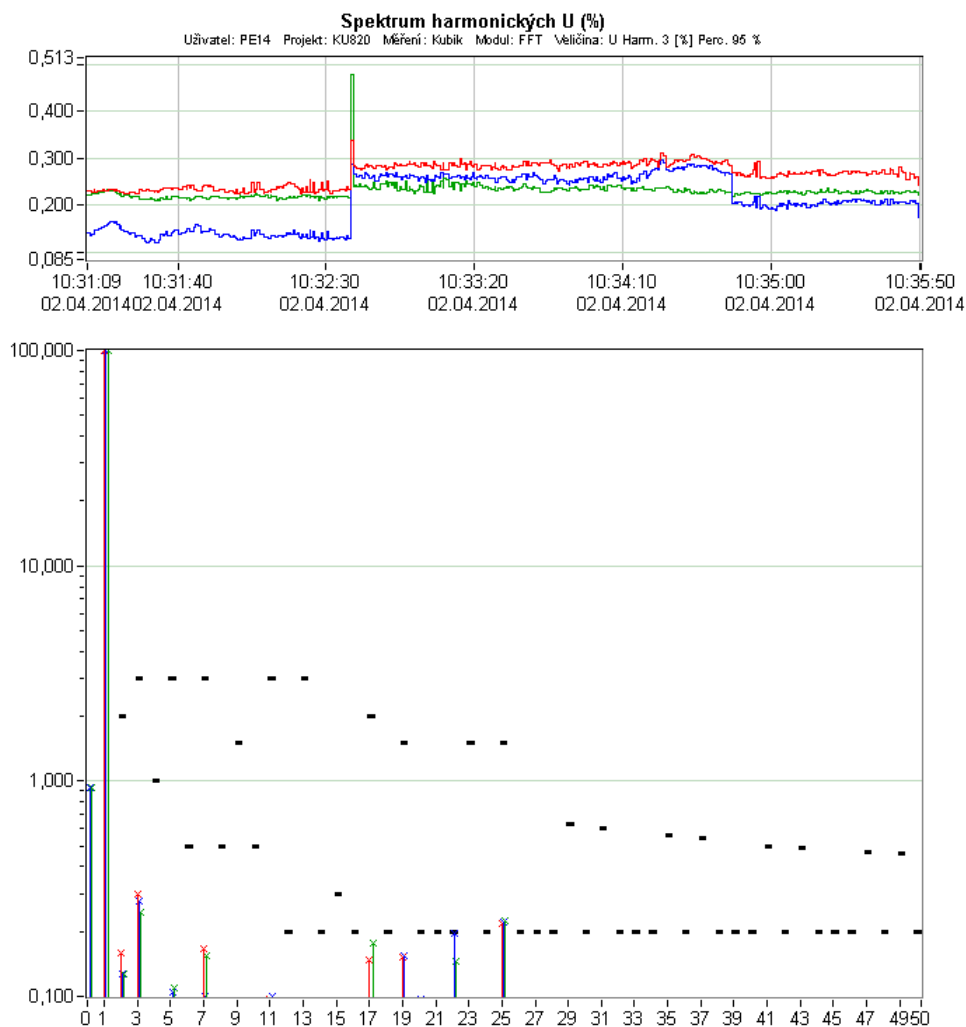
Obr. 6-7 Vektorový diagram při $P = 1,6 \text{ MW}$

Příloha č. 6

Na obr.6-7 je vektorový diagram v době odběru cca 1,6 MW z napájecí sítě 3 x 6 kV. Hodnoty účinníku v jednotlivých fázích dosahují při tomto výkonu pouze $\cos \varphi = 0,65$.

Spektrum harmonických U (%)

Místo měření: KU820
 Jméno operátora: Tomáš Kocourek
 Přístroj: V: 2.2.1
 Popis: Dopravní linka
 Interval ukládání: 1*200ms
 Začátek měření: 02.04.2014 09:24:33 (02.04.2014 10:31:09)
 Konec měření: 02.04.2014 10:36:04 (02.04.2014 10:35:50)
 Referenční napětí: 6,00 kV



příloha č. 7

Obr. 6-8 Spektrum harmonických U v [%]

Příloha č. 7

Uvádí procentuální zastoupení jednotlivých harmonických napětí ve všech třech fázích napájecí sítě 3 x 6000 V. Žádná z harmonických nepřesahuje hodnotu 1 %. Norma ČSN EN 61000-2-4 povoluje limitní hodnoty pro jednotlivé harmonické, které jsou v příloze (obr.6-8) vyznačeny černými značkami.

6.1.4 Potřebný kompenzační výkon

Z naměřených a odečtených hodnot z grafů na obr.6-2 a obr. 6-3 jsem sestavil tabulky výkonů.

Rozjezd DL bez materiálu				
místo	P(kW)	Q(kvar)	Q _c (kvar)	Q _{c2} (kvar)
Nakládací pas (2 motory)	91	511	2x150	211
Zadní pas	134	746	100	346
Přední pas	168	968	100	468
Koleso M1	215	1262	300	462
Koleso M2	221	1579	300	479
Celkem	221	1579	1100	479

Tab. 6-1 Hodnoty P a Q (bez materiálu)

Rozjezd DL s materiálem				
místo	P(kW)	Q(kvar)	Q _c (kvar)	Q _{c2} (kvar)
Nakládací pas (2 motory)	100	510	2x150	210
Zadní pas	167	743	100	343
Přední pas	183	956	100	456
Koleso M1	213	1282	300	488
Koleso M2	221	1560	300	466
Celkem	221	1560	1100	466

Tab. 6-2 Hodnoty P a Q (s materiálem)

Z dat uvedených v tabulkách vyplývá, že mimo motorů kola jsou motory DL značně předimenzované, jelikož se hodnoty odebíraného činného výkonu P tak i jalového výkonu Q v obou režimech dopravní linky téměř nemění.

Ve čtvrtém sloupci tabulek (Q_C) jsou uvedeny potřebné kompenzační výkony, které je nutno doplnit k jednotlivým motorům DL. Velikost celkového Q_C je 1100 kvar. V posledním sloupku tabulek je uveden jalový výkon Q_{C2} , který je nutno ještě dokompenzovat skupinovou kompenzací. Tento celkový výkon je $Q_{C2} = 466$ kvar.

Mimo motorů kola, nemohu řešit individuální kompenzaci motorů DL vyloženě podle údajů daných výrobcem, myslím tím jednotlivé účinnky ($\cos\phi$), které patří k hlavním štítkovým údajům elektrických strojů. Vzhledem k tomu že motory pohonů pasů jsou značně předimenzovány, tzn. k jmenovité hodnotě proudu potažmo deklarovanému účinnku se nejvíce přiblížíme maximálně tak při rozběhu DL (obr.6-6), je při návrhu řešení této kompenzace pro mne směřodlatné provedené měření, kdy jsem z měřicího přístroje a posléze i z grafů schopen vyčíst potřebu nutného kompenzačního výkonu po rozjezdu a provozu jednotlivých pasů DL. Právě na základě tohoto měření, vyjma motorů kola, pracují ostatní motory DL "naprázdno" s velmi špatným účinnkem celé soustavy 6 kV, který se pohybuje v rozmezí hodnot od 0,18 až 0,7.

V tomto ohledu se zatížení motorů pohonu kola značně liší. Zde jsme skutečně schopni, díky zvolené technologii těžby, vlivu strukturálního uspořádání těžené horniny a také vlivem lidského faktoru, dosáhnout jmenovitých parametrů těchto motorů.

Z obr.6-4 je patrné, že se činný výkon při těžbě, tedy po rozběhu DL a motorů kola, pohybuje v rozmezí hodnot $P = 0,221$ až $1,56$ MW.

Ve špičkovém zatížení, zejména při rozběhu pohonu kola s materiálem se tento výkon blíží až k hranici $1,9$ MW.

Z tohoto samého obrázku je také zřejmé, že velikost odběru jalové energie při těžbě kolísá od $Q = 1568$ až 1836 kvar.

K největšímu odběru jalového výkonu dochází při spouštění motorů kola, kdy vrcholové hodnoty dosahují velikosti $Q = 4,5$ Mvar (obr.6-2).

6.2 Výpočet a návrh individuální kompenzace

6.2.1 Motory koleša

Pohon koleša tvoří dvojice motorů typu :

2 x 1000 kW, AM- 3fázový s kotvou nakrátko, ARN 630 Y-6, $U_N = 6 \text{ kV}$, $I_N = 117,3 \text{ A}$,
 $\cos\varphi = 0,85$, 990 otč./min.

Výpočet se bude vztahovat pouze na jeden z těchto motorů.

Proud tekoucí motorem :

$$I_M = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi_M} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 113,2 \text{ A} \quad (5.)$$

$$I_{Mj} = I_M \cdot \sin \varphi_M = 113,2 \cdot 0,527 = 59,63 \text{ A} \quad (6.)$$

$$I_{M\check{C}} = \frac{I_{Mj}}{\operatorname{tg} \varphi_M} = \frac{59,63}{0,62} = 96,177 \text{ A} \quad (7.)$$

$$\bar{I}_M = (96,177 - j59,63) \text{ A}$$

Po kompenzaci :

$$I_K = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi_K} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 101,3 \text{ A}$$

$$I_{Kj} = I_K \cdot \sin \varphi_K = 101,3 \cdot 0,312 = 31,63 \text{ A}$$

$$I_{K\check{C}} = \frac{I_{Kj}}{\operatorname{tg} \varphi_K} = \frac{31,63}{0,33} = 95,845 \text{ A}$$

$$\bar{I}_K = (95,845 - j31,63) \text{ A}$$

Proud tekoucí kompenzačním kondenzátorem :

$$I_C = I_{Mj} - I_{Kj} = 59,63 - 31,63 = j28 \text{ A} \quad (8.)$$

Výkon kondenzátorové baterie :



$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_C = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 28 = 290 \text{ k var} \quad (9.)$$

Potřebná kapacita kondenzátoru se vypočte (10.) :

$$C = \frac{I_K}{\frac{U_C}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi f} = \frac{28}{\frac{6,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 24,4 \mu F$$

Kondenzátor :

Z vypočtených hodnot pak dle katalogu zez-silko volím potřebný typ kondenzátoru :

Typ	PDF	Napětí U_N [V]	Výkon Q_N [kvar]	Kapacita C_N [μF]	Proud I_N [A]	Zapojení
CPEFS 23-6,6/250	 415935A	6 600	250,0	3x18,3	3x21,9	
CPEFS 23-6,6/300	-	6 600	300,0	3x21,9	3x26,3	
CPEFS 23-6,6/350	-	6 600	350,0	3x25,6	3x30,7	
CPEFS 23-6,6/400	-	6 600	400,0	3x229,2	3x35,0	
CPEFS 23-6,6/450/WF	 416814A	6 600	450	3x32,9	3x39,4	

Tab. 6-3 Zvolený typ kondenzátoru $Q=300$ kvar

Power Výkon Q_N [kvar]	Dimensions Rozměry		Weight Hmotnost [kg]	Drawing No. *) Výkres *)
	Dc [mm]	Hc [mm]		
50	145	170	14	1
100	145	250	18	1
150	145	330	23	1
200	145	420	29	1
250	145	520	35	1
300	145	600	40	1

Tab. 6-4 Rozměry kondenzátoru $Q=300$ kvar

Nejbližší hodnoty kapacity a proudu má kondenzátor **CPEFS 23-6,6/300** s jmenovitým výkonem $Q_N=300$ kvar. Jeho jmenovitá kapacita $C_N = 3x21,9 \mu F$ při $I_N = 3x26,3$ A.

Tlumivka :

reaktance zvoleného kondenzátoru X_C (15.) :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 26,3 \cdot 10^{-6}} = 380 \Omega$$

dále pak ze vzorců 13. až 17. vypočítám reaktance předřadné tlumivky je X_L :

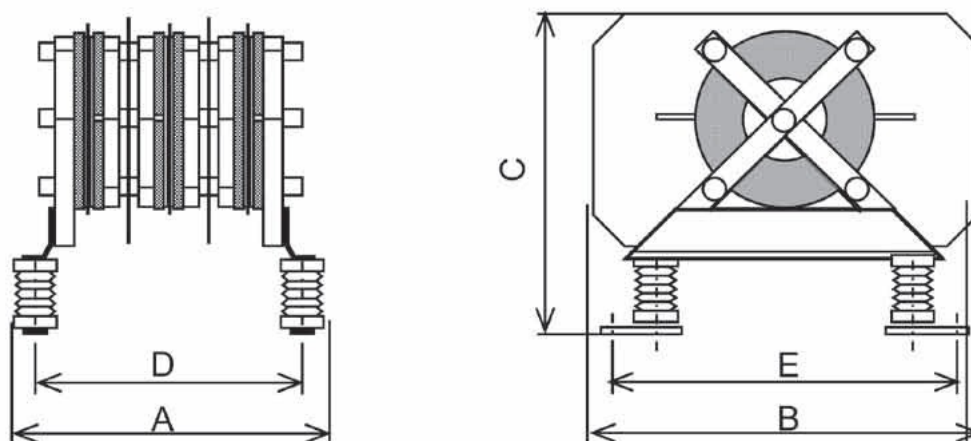
$$X_L = -p \cdot X_C = 0,0707 \cdot 380 = 26,9 \Omega$$

a tedy indukčnost tlumivky L :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{26,9}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 85 \text{ mH}$$



Obr. 6-9 IC reactor 0,1mH



Obr. 6-10 IC reactor - rozměry

Dle katalogu zez-silko volím potřebný typ tlumivky :

Type / Typ	U _n (kV)	I _n (A)	L _{TL} (mH)	Outer dimensions / Rozměry (mm)			Mounting holes span (mm) / Montážní otvory			Weight / Hmotnost (kg)
				A	B	C	D	E	Ø	
IC reactor 7,2 kV, 50 A, 0,05 mH	7,2	50	0,05	397	400	357	337	349	11	16,2
IC reactor 7,2 kV, 50 A, 0,1 mH	7,2	50	0,1	397	450	390	337	374	11	19,3
IC reactor 7,2 kV, 100 A, 0,1 mH	7,2	100	0,1	491	500	416	405	386	11	28,7

Tab. 6-5 Parametry ochranné tlumivky I.

Kompenzační výkon celého kompenzačního článku Q_{LC} při použití vybraného kondenzátoru a tlumivky je (dle vzorce 18.) :

$$Q_{LC} = \frac{U_N^2}{(1-p) \cdot \left(\frac{U_C^2}{Q_N} \right)} = \frac{6000^2}{(1-0,0707) \cdot \left(\frac{6600^2}{300 \cdot 10^3} \right)} = 256 \text{ k var}$$

Proud kompenzačním článkem je (vzorec 19.):

$$I_{LC} = \frac{Q_{LC}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{256 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 24,6 \text{ A}$$

Pojistky :

Jmenovitý proud pojistky tedy vychází (20.) :

$$I_N = 2,5 \cdot I_{LC} = 2,5 \cdot 24,6 = 61,3 \text{ A}$$

Vysokonapěťové pojistkové tavné vložky

Typ	Jmenovité napětí kV	Jmenovitý proud A	e	Číslo katalogu	Hmotnost kg
CMF	3,6	100	292	1YMB531028M0001	2,3
CMF	3,6	160	292	1YMB531028M0002	2,3
CMF	3,6	200	292	1YMB531028M0003	2,3
CMF	3,6	250	292	1YMB531028M0004	3,8
CMF	3,6	315	292	1YMB531028M0005	3,8
CMF	72	63	442	1YMB531029M0001	3,0
CMF	72	100	442	1YMB531029M0002	3,0
CMF	72	160	442	1YMB531029M0003	3,0

Tab. 6-6 Vn pojistkové vložky

Jednotlivé typy a součásti kompenzační baterie jsou více popsány v následující podkapitole (6.2.2) a nebudu je tudíž dále rozebírat.

6.2.2 Technické specifikace rozváděčů

Pro kompenzaci motorů se musí vyrobit 2 ks skříňových rozváděčů, které budou označeny jako RC11 a RC12. Jednalo by se o volně stojící skříňový rozváděč o rozměrech š x 1000 v x 2200 h x 800 mm s velmi pevnou konstrukcí a s dveřmi na zámky (musí se zohlednit značné vibrace při provozu stroje). Byl by umístěn ve strojovně vyvažovacího výložníku a skládal by se ze dvou samostatných polí pro každý motor s krytím IP54. Přípojnice a vodiče by byly měděné s odpovídajícím barevným značením dle ČSN. Svorkovnice o různých napěťových soustavách musí být od sebe odděleny a zajištěny proti otřesům. Značení skříně a vodičů včetně popisů přístrojů v rozváděči dle ČSN 013 305.

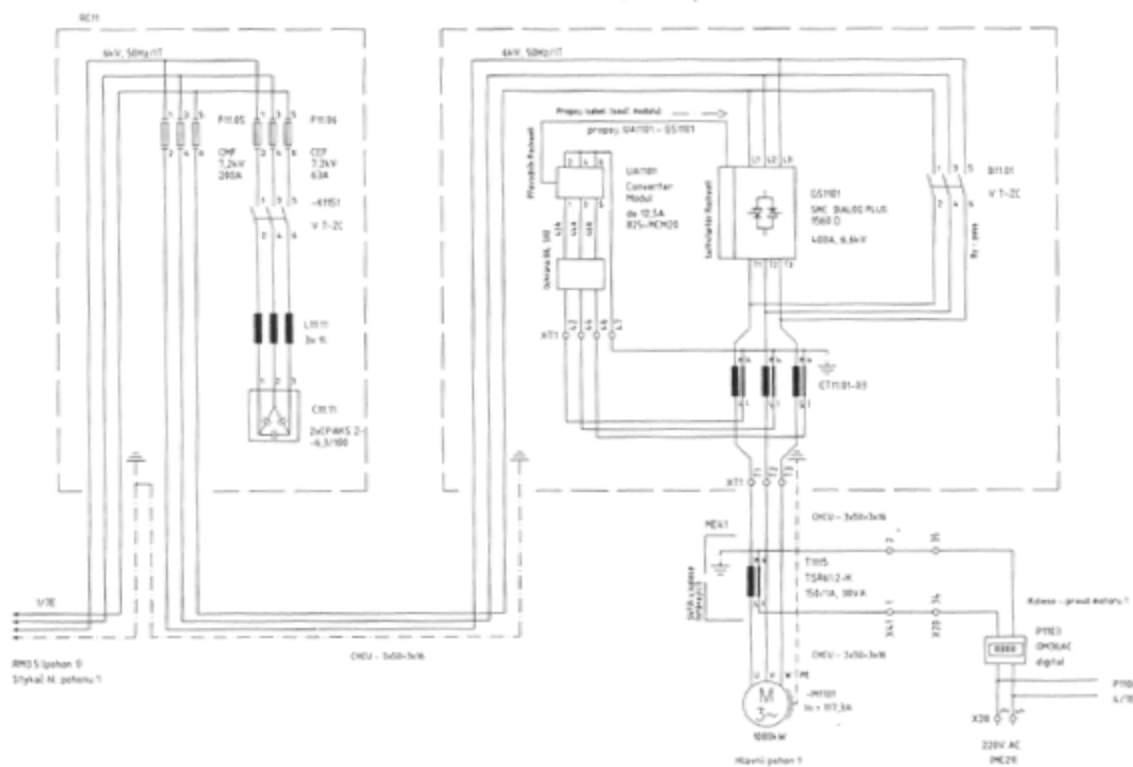
Přístrojová náplň RC11 (RC12) :

3 ks jednopólový vnitřní pojistkový spodek a 3 ks pojistek vn tavná' CMF 7,2 kV, 63 A (fy. ABB)

- jištění kondenzátorových článků

1 ks třířázová ochranná vzduchová tlumivka vn (7,2 kV a 50 A)

1 ks třířákový kompenzační kondenzátor vn, 6,6 kV, 300 kvar, typ CPEFS23-6,6/300 s vnitřními
vybíjecími odpory



Obr. 6-11 Ilustrační schéma zapojení kompenzace kola

6.2.2 Motory DL - nakládací pas

Pohon nakládacího pasu tvoří dvojici identických motorů typu :

3f AM s kroužkovou kotvou 2 x 630 kW, typ 1YG-710M-6, $U_N = 6$ kV, $I_N = 72,3$ A, $\cos\varphi = 0,87$, 990 otč./min.

Z měření vyplívá, že potřeba dodaného kompenzačního výkonu je $Q_C = 150 \text{ kvar}$ pro každý motor.

Dále z měření plyne, že v tomto případě, není nutno brát na zřetel vliv vyšších harmonických. Ve všech třech fázích napájecí sítě 3 x 6000 V žádná z harmonických nepřesahuje hodnotu 1 %. Norma ČSN EN 61000-2-4 (viz. příloha č. 7). Nebudu se tedy zabývat návrhem hradící tlumivky, ale budu řešit jen problematiku výběru 3f-kondenzátoru.

Fázový proud kondenzátoru :

$$I_K = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 14,43 \text{ A}$$

Potřebná kapacita kondenzátoru se vypočítá :

$$C = \frac{I_K}{\frac{U_C}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi f} = \frac{14,43}{\frac{6,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 12,1 \text{ } \mu\text{F} \quad (10.)$$

$$U_C = U_S \cdot (1 + 0,01) = 6600 \text{ V} \quad (11.)$$

Napětí U_C jsem navýšil o 600V, kdy hodnota maximálního dovoleného přepětí v síti musí dosahovat nejvýše + 10% napětí sítě. Norma ČSN EN 50160.

Z těchto vypočítaných hodnot dále volím, z katalogu firmy ZEZ-SILKO, vhodný 3f-kondenzátor.

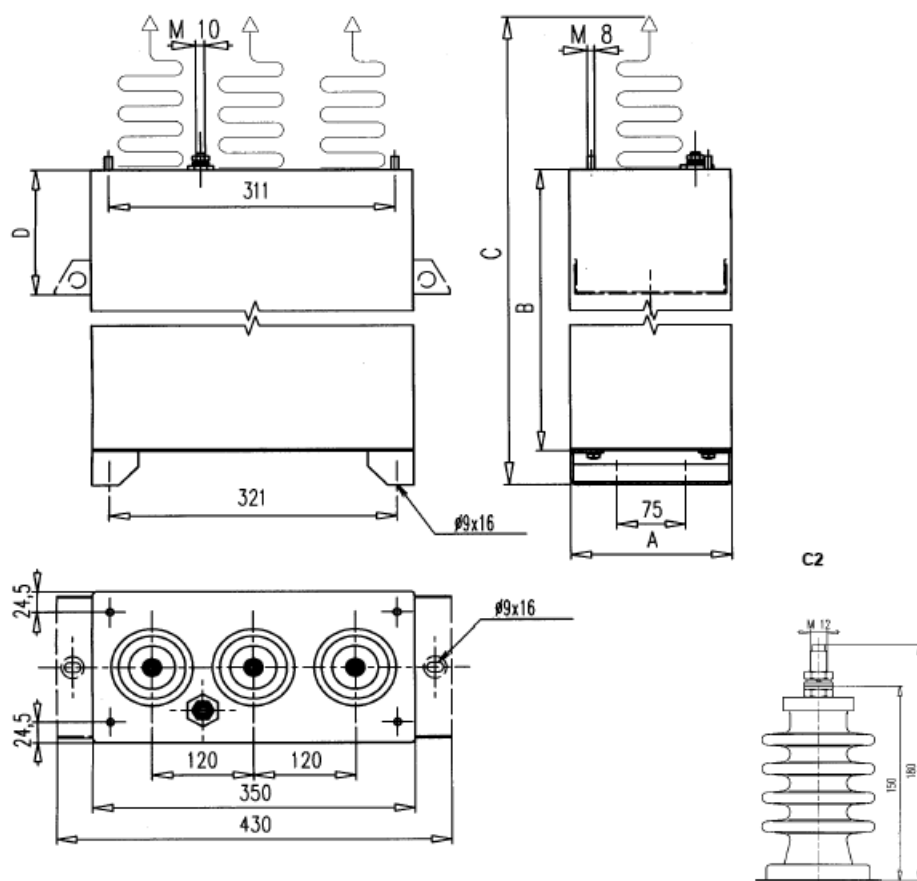
Typ	PDF	Napětí U^N [V]	Výkon Q^N [kvar]	Kapacita C^N [μF]	Proud I_N [A]	Zapojení
CPEFS 23-6,6/100	 436249A	6 600	100,0	3x3,7	3x4,4	
CPEFS 23-6,6/150	-	6 600	150,0	3x11,0	3x13,1	
CPEFS 23-6,6/200/WF	 436251A	6 600	200,0	3x14,6	3x17,5	
CPEFS 23-6,6/250	 435935A	6 600	250,0	3x18,3	3x21,9	
CPEFS 23-6,6/300	-	6 600	300,0	3x21,9	3x26,3	
CPEFS 23-6,6/350	-	6 600	350,0	3x25,6	3x30,7	

Tab. 6-7 Zvolený typ kondenzátoru $Q=200 \text{ kvar}$

Kondenzátor :

Tyto kondenzátory jsou určeny pro kompenzaci jalového výkonu a pro filtraci vyšších harmonických. Konstrukce dielektrika je v provedení all-film (celofóliové). Dielektrikem je polypropylenová fólie impregnovaná syntetickou kapalinou, známou pod obchodním názvem JARYLEC, která je zdravotně i ekologicky nezávadná. Elektrody tvoří hliníková fólie. Tato konstrukce zajišťuje velmi nízké ztráty kondenzátorů. Zapojení aktivní části je u třífázových jednotek do hvězdy a značí se „Y”. Jednotky mají vestavěny vnitřní vybíjecí odpory snižující napětí na 75 V do 10 minut. Třífázové i jednofázové jednotky jsou v plně izolovaných nádobách, na požádání je možno dodat kondenzátory s jedním pólem na nádobě.

Kondenzátory lze vybavit tlakovým čidlem 230 V, 50 Hz. [10]



Obr. 6-12 Rozměry kondenzátoru CPEFS 23-6,6/200/WF

Power Výkon Q_N [kvar]	Dimensions Rozměry		Weight Hmotnost [kg]	Drawing No. *) Výkres *)
	D_c [mm]	H_c [mm]		
50	145	170	14	1
100	145	250	18	1
150	145	330	22	1
200	145	420	29	1
250	145	520	33	1
300	145	600	40	1

Tab. 6-8 Rozměry kondenzátoru $Q=200$ kvar

Nejbližší hodnoty kapacity a proudu má kondenzátor **CPEFS 23-6,6/200/WF** s jmenovitým výkonem $Q_N=200$ kvar. Jeho jmenovitá kapacita $C_N = 3 \times 14,6 \mu\text{F}$ při $I_N = 3 \times 17,5$ A.

Fázový proud kondenzátoru :

$$I_{K200} = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 19,25 \text{ A} \quad (12.)$$

Pro omezení amplitudy přechodových proudových rázů při spínání je nutno kondenzátor do plnit o ochranou spínací tlumivku.

Tlumivka :

Standardní konstrukce jedno s třífázových fázových tlumivek je určena pro vn kompenzační baterie jako ochrana kondenzátorů před velmi vysokými hodnotami spínacích proudů . Maximální jmenovité napětí tlumivek 40 kV, jmenovité proudy do 250 A.

Typická vyráběná napětí 7,2 a 12 kV. [10]

Rezonanční kmitočet tlumivky je $f_r = 188 \text{ Hz}$

rezonance nastává při:

$$n_r = \frac{f_r}{f_n} = \frac{188}{50} = 3,76 \quad (13.)$$

činitel zatlumení:

$$p = \frac{1}{n_r^2} = \frac{1}{3,76^2} = 0,0707 \quad [-] \quad (14.)$$

reaktance zvoleného kondenzátoru X_C :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 14,6 \cdot 10^{-6}} = 218 \Omega \quad (15.)$$

reaktance předřadné tlumivky je X_L :

$$X_L = -p \cdot X_C = 0,0707 \cdot 218 = 15,4 \Omega \quad (16.)$$

a tedy indukčnost tlumivky L :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{15,4}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 49 \text{ mH} \quad (17.)$$

Kompenzační výkon celého kompenzačního článku Q_{LC} při použití vybraného kondenzátoru a tlumivky je:

$$Q_{LC} = \frac{U_N^2}{(1-p) \cdot \left(\frac{U_C^2}{Q_N} \right)} = \frac{6000^2}{(1-0,0707) \cdot \left(\frac{6600^2}{200 \cdot 10^3} \right)} = 177 \text{ k var} \quad (18.)$$

Proud kompenzačním článkem je:

$$I_{LC} = \frac{Q_{LC}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{177 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 17,03 \text{ A} \quad (19.)$$

Dle vypočítané hodnoty indukčnosti jsem vybral z katalogu firmy ZEZ-SILKO tento typ tlumivky (viz. tab.6-5).



Obr. 6-13 Ochranná tlumivka 0,05mH

Type / Typ	U _n (kV)	I _n (A)	L _{TL} (mH)	Outer dimensions / Rozměry (mm)			Mounting holes span (mm) / Montážní otvory			Weight / Hmotnost (kg)
				A	B	C	D	E	Ø	
IC reactor 7,2 kV, 50 A, 0,05 mH	7,2	50	0,05	397	400	357	337	349	11	16,2
IC reactor 7,2 kV, 50 A, 0,1 mH	7,2	50	0,1	397	400	357	337	349	11	19,5
IC reactor 7,2 kV, 100 A, 0,05 mH	7,2	100	0,05	465	430	397	405	362	11	22,9
IC reactor 7,2 kV, 100 A, 0,1 mH	7,2	100	0,1	491	500	416	405	386	11	28,7

Tab. 6-9 Parametry ochranné tlumivky II.

Kondenzátor se připojí přímo v prostoru napájecího rozvaděče RM3.10 (v RM3.11 pro druhý motor) k výstupním kontaktům stykače K1614 (K1616). Provede se několik konstrukčních úprav ve vnitřku rozvaděče hlavně s ohledem na potřebu doplnit kobku o pojistkové spodky a vložky kvůli ochraně kondenzátoru před účinky zkratových proudů. K tomu jsou vhodné pojistky CMF od firmy ABB. Tyto pojistky mají schopnost snášet opakované proudové nárazy spojené se spouštěním motoru, tak jsou i vhodné pro časté spínání kompenzačních článků. Jmenovitý proud u rychlých pojistek by měl být 2 až 2,5 násobek proudu I_{LC} .

Pojistky :

Jmenovitý proud pojistky tedy vychází:

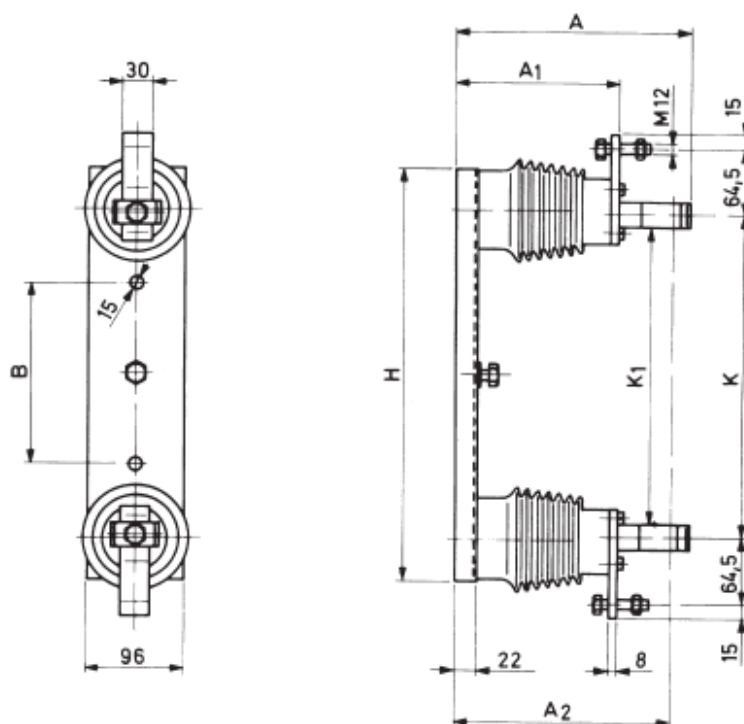
$$I_N = 2,5 \cdot I_{LC} = 2,5 \cdot 17,03 = 42,6 \text{ A} \quad (20.)$$

Vysokonapěťové pojistkové tavné vložky

Typ	Jmenovité napětí kV	Jmenovitý proud A	e	Číslo katalogu	Hmotnost kg
CMF	3,6	100	292	1YMB531028M0001	2,3
CMF	3,6	160	292	1YMB531028M0002	2,3
CMF	3,6	200	292	1YMB531028M0003	2,3
CMF	3,6	250	292	1YMB531028M0004	3,8
CMF	3,6	315	292	1YMB531028M0005	3,8
CMF	7,2	63	442	1YMB531029M0001	3,0
CMF	7,2	100	442	1YMB531029M0002	3,0
CMF	7,2	160	442	1YMB531029M0003	3,0

Tab. 6-10 Vn pojistkové vložky

Z katalogu firmy ABB pojistek omezujících proud typu CMF (tab. 6-9) jsem vybral pojistku s nejbližším vyšším jmenovitým proudem, tedy 63 A a jmenovitým napětím 7,2 kV. Dále jsem z tohoto katalogu vybral i příslušný pojistkový spodek daných rozměrů (obr.28. a tab.6-7).



Obr. 6-14 Pojistkový spodek UCE

Typ	Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Délka pojistky	Rozměry v mm							Hmotnost kg	Číslo katalogu
	kV	A		A	A ₁	A ₂	H	K	K ₁	B		
UCE 7,2	3,6/7,2	6-100	192	232	160	220	310	218	193	55	3,4	1YMX052501M0001

Tab. 6-11 Rozměry UCE 7,2

6.2.3 Motory DL - přední a zadní pas

Pohon předního a zadního pasu tvoří motor typu :

3f AM s kroužkovou kotvou 2 x 630 kW, typ 1YG-710M-6, $U_N = 6$ kV, $I_N = 72,3$ A, $\cos\varphi = 0,87$, 990 otč./min.

Tyto motory jsou typově stejné jako motory zadního pasu, jen s tím rozdílem, že potřeba jalové energie plynoucí z měření (viz. tab. 6-2), je $Q_C = 100$ kvar pro každý motor.

Kondenzátor :

Fázový proud kondenzátoru :

$$I_K = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 9,6 \text{ A}$$

Potřebná kapacita kondenzátoru se vypočte :

$$C = \frac{I_K}{\frac{U_C}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi f} = \frac{9,6}{\frac{6,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 50 \cdot \pi} = 8 \mu F$$

$$U_C = U_S (1 + 0,01) = 6600 \text{ V}$$

Z katalogu ZEZ- SILKO opět vyberu 3f-kondenzátor, který má parametry co nejvíce shodné s mým výpočtem. V tomto případě se jedná o kondenzátor **CPEFS 23-6,6/150** o jmenovitém výkonu $Q_N = 150$ kvar a kapacitě $C_N = 3 \times 11 \mu F$ při $I_N = 3 \times 13,1$ A.

Typ	PDF	Napětí U^N [V]	Výkon Q^N [kvar]	Kapacita C^N [μF]	Proud I_N [A]	Zapojení
CPEFS 23-6,6/100	 416249A	6 600	100,0	3x3,7	3x4,4	
CPEFS 23-6,6/150	-	6 600	150,0	3x11,0	3x13,1	
CPEFS 23-6,6/200/WT	 416251A	6 600	200,0	3x14,0	3x17,3	
CPEFS 23-6,6/250	 415935A	6 600	250,0	3x18,3	3x21,9	
CPEFS 23-6,6/300	-	6 600	300,0	3x21,9	3x26,3	
CPEFS 23-6,6/350	-	6 600	350,0	3x25,6	3x30,7	

Tab. 6-12 Zvolený typ kondenzátoru $Q = 150$ kvar

Kondenzátor je stejného typu a konstrukce (viz. obr.26.) jako v předešlém řešení, jen se trochu proporcionálně odlišuje.

Power Výkon Q_N [kvar]	Dimensions Rozměry		Weight Hmotnost [kg]	Drawing No. *) Výkres *)
	D_c [mm]	H_c [mm]		
50	145	170	14	1
100	145	250	18	1
150	145	330	23	1
200	145	420	29	1
250	145	520	35	1
300	145	600	40	1

Tab. 6-13 Rozměry kondenzátoru $Q=150$ kvar

fázový proud kondenzátoru :

$$I_{K150} = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 14,43 \text{ A}$$

Tlumivka :

činitel zatlumení:

$$p = \frac{1}{n_r^2} = \frac{1}{3,76^2} = 0,0707 \quad [-]$$

reaktance zvoleného kondenzátoru X_C :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 13,1 \cdot 10^{-6}} = 243 \Omega$$

reaktance předřadné tlumivky je X_L :

$$X_L = -p \cdot X_C = 0,0707 \cdot 243 = 17,18 \Omega$$

a tedy indukčnost tlumivky L :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{17,18}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 55 \text{ mH}$$

Opět volím stejný typ ochané tlumivky:

7200 V

Typ	PDF	Indukčnost L_N [mH]	Proud I_N [A]	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]
7,2 kV, 0,05 mH, 50 A	-	0,05	50	397 x 400 x 357	16,2
7,2 kV, 0,1 mH, 50 A	-	0,1	50	397 x 450 x 390	19,3

Tab. 6-14 Parametry ochranné tlumivky III.

Kompenzační výkon celého kompenzačního článku Q_{LC} při použití vybraného kondenzátoru a tlumivky je:

$$Q_{LC} = \frac{U_N^2}{(1-p) \cdot \left(\frac{U_C^2}{Q_N} \right)} = \frac{6000^2}{(1-0,0707) \cdot \left(\frac{6600^2}{150 \cdot 10^3} \right)} = 133,33 \text{ k var}$$

Proud kompenzačním článkem je :

$$I_{LC} = \frac{Q_{LC}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{133,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 12,8 \text{ A}$$

Jištění :

Jmenovitý proud pojistky :

$$I_N = 2,5 \cdot I_{LC} = 2,5 \cdot 12,8 = 32 \text{ A}$$

K ochraně kompenzačního článku před zkratem bych použil výše zmíněné typy vn pojistek a pojistkových spodků. Tzn. navrhuji opět pojistkové vložky ABB typu CEF se jmenovitým proudem 63 A a jmenovitým napětím 7,2 kV (tab.6-6) a spodky typu UCE 7,2 (obr.6-12).

Kondenzátor se umístí přímo do prostoru napájecího rozváděče RM3.9 a přes ochranou tlumivku se připojí na kontakty pojistkového spodku. Pro upevnění pojistkového spodku se bude muset svařit ocelový rám, tak aby byly dodrženy všechny bezpečné vzdálenosti a zabránilo se náhodnému dotyku živých částí s konstrukcí rozváděče nebo s ostatním zařízením jeho výbavy. Silové kontakty stykače K1411, který slouží ke spínání motoru zadního pasu se propojí 3x s -lanem 6-CHCU se vstupními kontakty pojistkového spodku. Stejným způsobem bych provedl připojení kondenzátoru k druhému stykači K1311, který je umístěn v rozváděči RM3.8. a slouží k ovládání běhu motoru předního pasu.

6.3 Jalový výkon po provedené individuální kompenzaci

Před kompenzací dosahovala hodnota jalového výkonu velikosti $Q = 1560$ kvar.

Po provedené kompenzaci motorů pohonů DL, kdy bylo nutno nainstalovat šest vysokonapěťových třífázových kondenzátorů o celkové kompenzační kapacitě $Q_C = 1300$ kvar, jsem schopen snížit odběr jalové energie na $Q_{C2} = 260$ kvar. Tento "zbytkový" výkon je třeba započítat do návrhu skupinové kompenzace, která je řešena dále v této diplomové práci.

Po provedených výpočtech jsou v závorkách (tab.6-12) uvedeny skutečné hodnoty výkonů kompenzačních článků, které jsou sníženy o vliv ochranných tlumivek kondenzátorů.

Celkový kompenzační výkon Q_{C2} , který je třeba kompenzovat činí 428 kvar.

místo	$Q(\text{kvar})$	$Q_C(\text{kvar})$	$Q_{C2}(\text{kvar})$
Nakládací pas (2 motory)	510	2x200 (2x177)	110 (156)
Zadní pas	743	150 (133)	193 (256)
Přední pas	956	150 (133)	256 (336)
Koleso M1	1282	300 (256)	282 (406)
Koleso M2	1560	300 (256)	260 (428)
Celkem	1560	1300 (1132)	260 (428)

Tab. 6-15 Jalový výkon před a po kompenzaci

7. Skupinová kompenzace el. zařízení KU800/20

7.1 Měření v rozvodu 35 kV

Dne 30. 5. 2012 jsem provedl 24hodinové měření energetické bilance (P , Q , S a $\cos\varphi$) včetně parametrů napájecí sítě hlavního přívodu 3 x 35 kV pro napájení rýpadla KU 800/20. Místem měření všech výše uvedených veličin včetně parametrů napájecí sítě 3 x 35 kV byla rozvodna 35kV ve strojovně rýpadla. Měření napětí a proudů v jednotlivých fázích bylo uskutečněno v nn rozváděči poli "Přívod a měření" na vstupu elektroměru A2000.

Cílem měření bylo zjistit elektrické parametry odběru elektrické energie z uvedené napájecí sítě při vypnuté místní skupinové kompenzaci.

7.1.1 Popis měřicí aparatury

Pro měření všech elektrických parametrů napájecí sítě 3 x 35 kV byl použit analyzátor napájecích sítí PNA 550 a jeho příslušenství. Jako příslušenství byly použity proudové měniče MN71 s rozsahem do 5 A. Měřicí aparatura byla připojena v příslušném rozváděči na vstupu elektroměru A2000.

Při zapojení analyzátoru byly respektovány fáze napětí L1, L2, L3 a k nim příslušné proudy a jejich směry toků elektroměru A2000.

V rámci měření byly snímány hodnoty napětí 3 x 100 V s převodem 6000/100 V a hodnoty proudů 3 x 5 A s převodem 400/5 A.

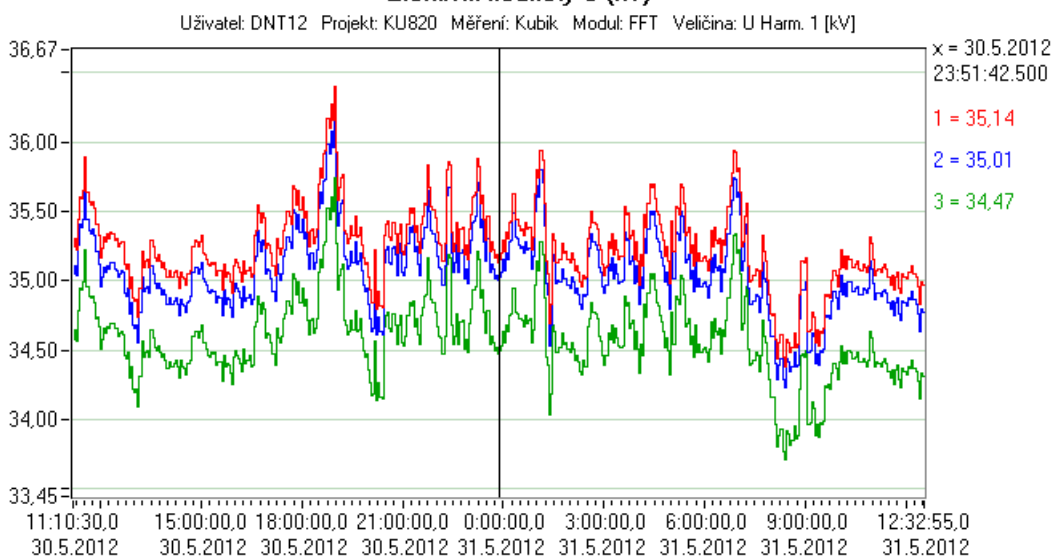
7.1.2 Výsledky měření

- a) Efektivní hodnoty napětí splňovaly po celou dobu měření požadavky +/- 10 % normy ČSN EN 50 160. Za celou dobu měření nedošlo ani jednou ke krátkodobému výpadku napětí.
- b) Činný výkon dosahoval v průběhu 24hodinového měření hodnot **až 2,154 MW** při velmi špatném účinníku $\cos\varphi$ jehož hodnoty se pohybovaly **od 0,5 až 0,6**. Technologie rýpadla tedy odebírá z napájecí sítě značný jalový výkon a přívodní kabely a transformátory jsou zatěžovány jalovými proudy.
- c) Odběr celkového zdánlivého výkonu odebíraného z napájecí sítě dosahoval **až 3,5 MVA**. Odebíraný **induktivní jalový výkon** dosahoval za provozu rýpadla z důvodu vypnuté kompenzace hodnot **až 2,754 Mvar**.

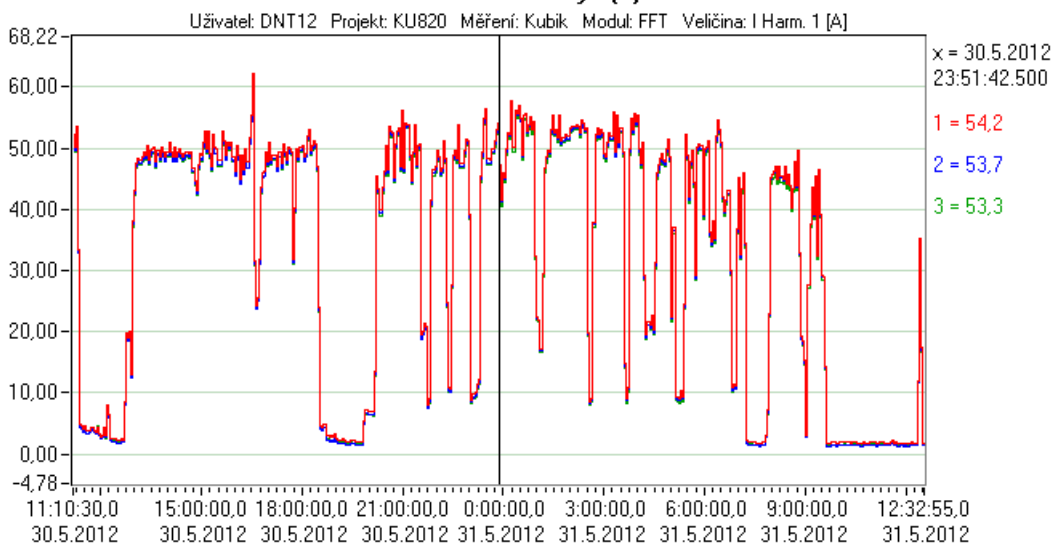
Efektivní hodnoty U a I

	1. graf	2. graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D
Přístroj:	V: 2.2.1 1. 10. 2009	V: 2.2.1 1. 10. 2009
Popis:	Hlavní přívod 35 kV	Hlavní přívod 35 kV
Interval ukládání:	3sec	3sec
Začátek měření:	30.5.2012 11:10:30	30.5.2012 11:10:30
Konec měření:	31.5.2012 12:32:55	31.5.2012 12:32:55
Referenční napětí:	35,00 kV	35,00 kV

Efektivní hodnoty U (kV)



Efektivní hodnoty I (A)

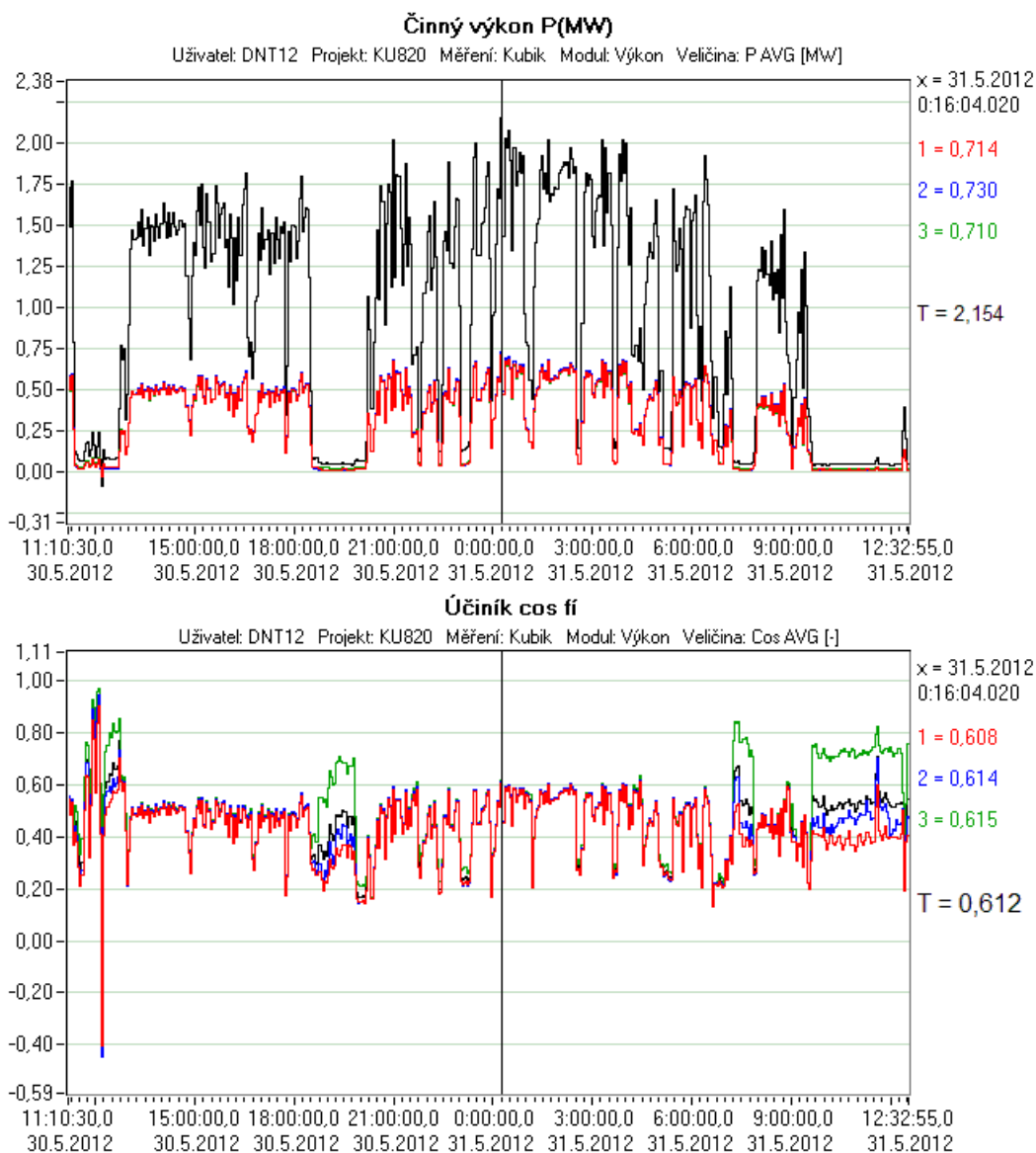


Obr. 7-1 Efektivní hodnoty U a I - těžba

Na (obr.7-1) jsou v horním grafu zobrazeny efektivní hodnoty sdruženého napětí napájecí soustavy 3 x 35 kV. Ty se v průběhu 24 hodin pohybovaly v mezích od 33705 V do 36410 V, tzn. podmínka normy ČSN EN 50160 byla splněna. Ve spodním grafu jsou zobrazeny průběhy efektivních hodnot fázových proudů. Za provozu rýpadla se pohybovaly v mezích od 10 do 60 A.

Činný výkon a účinník $\cos \varphi$

	1. graf	2. graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D
Přístroj:	V: 2.2.1 1. 10. 2009	V: 2.2.1 1. 10. 2009
Popis:	Hlavní přívod 35 kV	Hlavní přívod 35 kV
Interval ukládání:	3sec	3sec
Začátek měření:	30.5.2012 11:10:30	30.5.2012 11:10:30
Konec měření:	31.5.2012 12:32:55	31.5.2012 12:32:55
Referenční napětí:	35,00 kV	35,00 kV

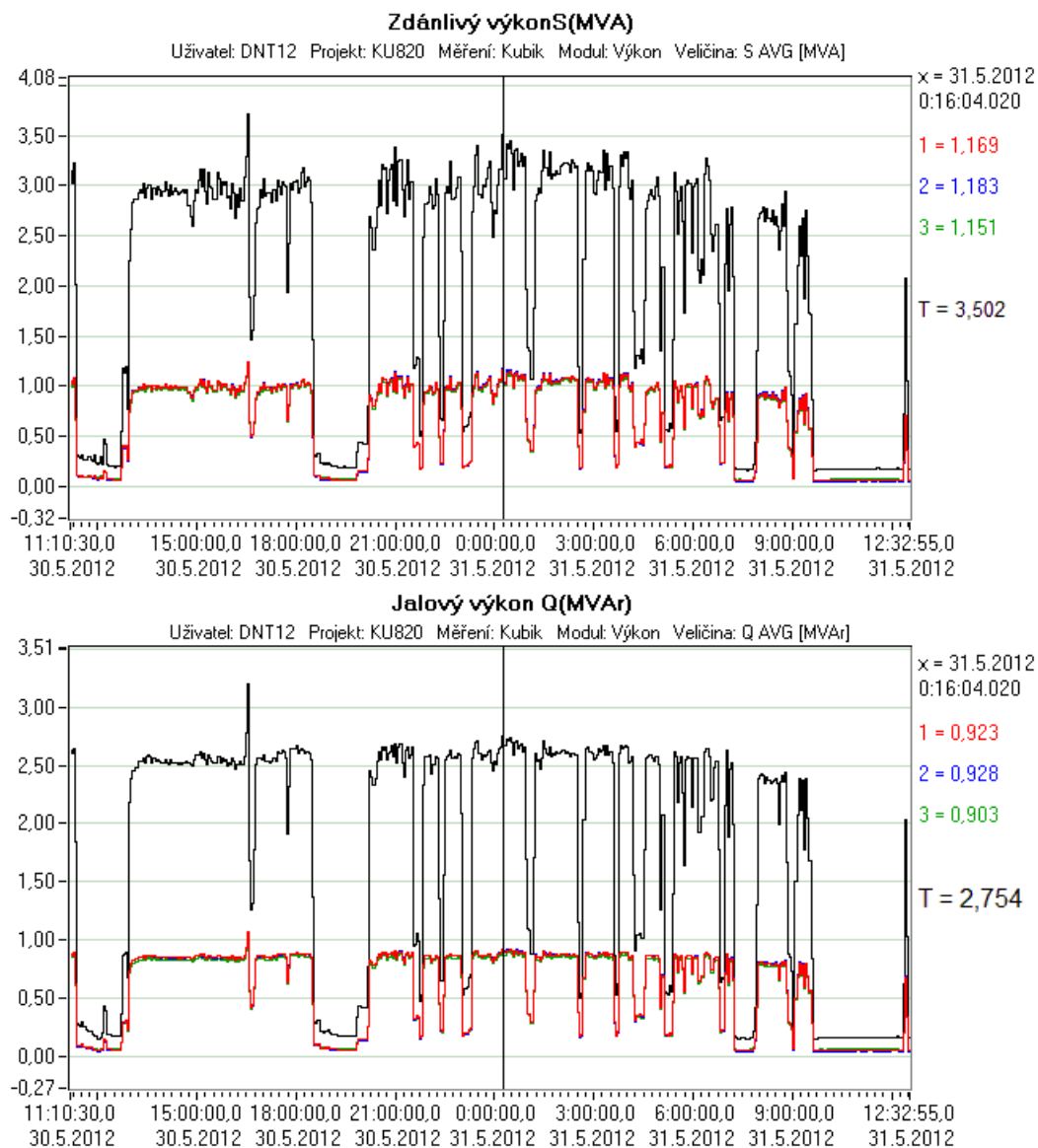


Obr. 7-2 Měření P a $\cos \varphi$ - těžba

V horním grafu (obr.7-2) je uveden činný výkon odebíraný ze všech třech fází z napájecí sítě 3 x 35 kV. Hodnoty **celkového výkonu dosahovaly 2,154 MW**. Ve spodní části je zobrazen účinník první harmonické $\cos \varphi$, který dosahoval za provozu rýpadla hodnot **pouze 0,5 až 0,6**.

Zdánlivý S(MVA) jalový Q(MVAr)

	1. graf	2. graf
Místo měření:	KU820	KU820
Jméno operátora:	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D	Ing. Bohumír Kubík, Ph. D
Přístroj:	V: 2.2.1 1. 10. 2009	V: 2.2.1 1. 10. 2009
Popis:	Hlavní přívod 35 kV	Hlavní přívod 35 kV
Interval ukládání:	3sec	3sec
Začátek měření:	30.5.2012 11:10:30	30.5.2012 11:10:30
Konec měření:	31.5.2012 12:32:55	31.5.2012 12:32:55
Referenční napětí:	35,00 kV	35,00 kV



Obr. 7-3 Měření S a Q výkonů - těžba

V horním grafu (obr.7-3) je uveden zdánlivý výkon odebíraný ze všech třech fází napájecí sítě 3 x 35 kV. Hodnoty celkového **zdánlivého výkonu** odebíraného ze sítě dosahovaly **až 3,5 MVA**. Ve spodní části je zobrazen odebíraný **induktivní jalový výkon**. Ten dosahoval za provozu rýpadla hodnot **až 2,754 Mvar**.

7.1.3 Potřebný celkový kompenzační výkon

Po provedené individuální kompenzaci motorů DL je třeba v jejich napájecí síti 3 x 6 kV ještě nutno dodat 428 kvar kompenzačního výkonu pro dosažení příznivého účinníku 0,95. Z výsledků provedeného měření rozvodu 3x35 kV při provozu stroje dosahuje odběr induktivní jalové energie hodnot až

$Q = 2754$ kvar (ve špičkových hodnotě až 4,5 Mvar při rozběhu prvního motoru kola). Tento jalový výkon bude menší o kompenzační výkon nově dodaných zařízení.

$$Q_{\text{celkový}} = Q - Q_C = 2754 - 1132 = 1622 \text{ k var}$$

Na tomto výsledném odběru $Q_{\text{celkový}}$ mají hlavní vliv ostatní zařízení stroje (viz. obr.8-2) . Zejména se jedná o oběhová čerpadla centrálního mazání a čerpadla mazacích lisů, vytápění prostor a převodovkových skříní, osvětlení, motory předávacího pasu a prašných pasů, motory napínání jednotlivých pasů, motory pojezdu podpěrného vozu, jednotlivé transformátory 2 x 6000/690 V, 2 x 6000/400 V a 1 x 6000/500 V , motory a součásti zajišťující pohyb stroje (zdvih, výsuv a otoč) a v neposlední řadě veškeré komponenty hydraulických systémů kráčení včetně dvou 6 kV motorů hlavních čerpadel o výkonu 2 x 800 kW. Tyto dva "velké" motory jsem ve své diplomové práci nijak neřešil, jelikož celková doba jejich chodu se při běžné provozní směně pohybuje kolem 40 minut.

Ke kompenzaci odběru jalové energie výše jmenovaného zařízení bych navrhoval na napětíové hladině 3 x 6 kV níže řečený kompenzační rozváděč.

7.2 Filtračně - kompenzační rozváděč

Pro řešení skupinové kompenzace pro zbývajících elektrická zařízení instalovaná na tom to stroji a po vyhodnocení všech dat a parametrů z provedených měření navrhuji filtračně - kompenzační stupňovitě spínaný rozváděč FKR6/3220-3-R řízený mikroprocesorovým regulátorem. Tento rozváděč bude osazen na plošině strojovny v místě po demontovaném rotačním kompenzátoru. Připojení k napájecí síti by se provedlo kabelem 6-CHCU 3x95+3x16mm² o délce 30 m na vývod 6 kV z rozvodny RM2 ve strojovně KU800/20. Vývodové pole je vybaveno vypínačem SF6, měřením proudu 300/5 A a nadproudovou ochranou AT31X. Dále je z rozváděče RS 1.2. připojeno napětí pomocných obvodů 230 V, 50 Hz a pomocné kontakty vypínače.

7.2.1 Technické parametry

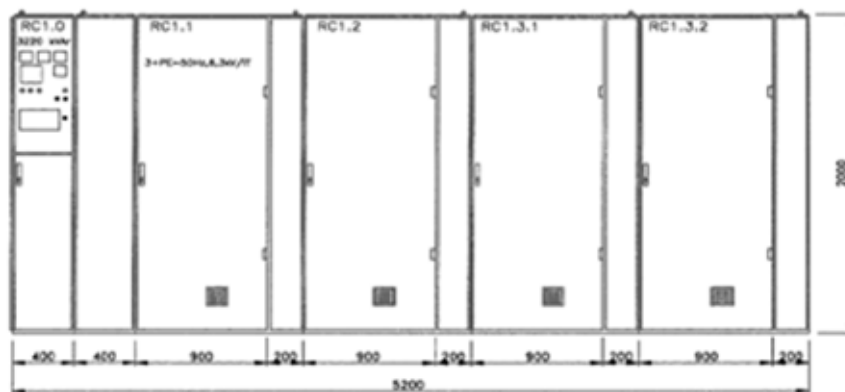
Napěťová soustava hlavních obvodů:	3+PE~50 Hz 6 kV/IT
Napěťová soustava pomocných obvodů:	1+PE~50 Hz 230 V/IT
Jmenovité napětí:	6,3 kV
Jmenovitý proud přívodu:	400 A
Instalovaný výkon:	4200 kvar
Kompenzační výkon:	3220 kvar
Počet/váha/velikost stupňů:	3/1:2:4/460,920,1840 kvar
Zkratová odolnost:	40/16 kA
Krytí:	IP 40/00
Výkonové stupně:	0,460,920,1380,1840,2300,2760,3220 kvar
Rozměry:	5200x800x2000 mm (š x hl. x v)
Hmotnost:	3000 kg ^[8]

Po samotné demontáži rotačního synchronního kompenzátoru včetně jeho frémy a dalšího strojního zařízení je nutné ve strojovně rýpadla doplnit adekvátní zátěž kvůli správnému vyvážení celého stroje. To znamená, dodat do prostoru strojovny, v místě budoucího umístění rozváděče, závaží v podobě ocelových ingotů o hmotnosti 11 700 kg. Počítám s hmotností rozváděče 3000 kg a váha kompletního synchronního motoru je 14 700 kg (dle technické dokumentace).

7.2.2 Silová část

Silová část rozváděče nese označení RC1 a nalézá se ve čtyřech skříních s dveřmi přístupnými z venkovního prostředí. Skříně mají krytí IP 40 a jejich větrání je zajištěno ventilátory a filtry. Konstrukce skříní musí být dostatečně robustní pro zajištění ochrany zařízení před značnými otřesy, účinky vnějších vlivů a v poslední řadě též k bezpečnosti obsluhy.

Hlavní vypínač pro kompenzační rozváděč je v poli RM2.12 rozvodny 6 kV a působí na něj nadproudová, zkratová ochrana a poruchová signalizace PSZ30. Přívod do kompenzačního rozváděče je proveden gumovou šňůrou 6-CHCU 3 x 95 do vstupního pole RC 1.0. (V tomto vstupním poli je taktéž umístěna oddělená nn část s pomocnými regulačními body – viz. dále). Celým rozváděčem prochází přípojnícový systém zajišťující propojení jednotlivých jeho částí. ^[8]



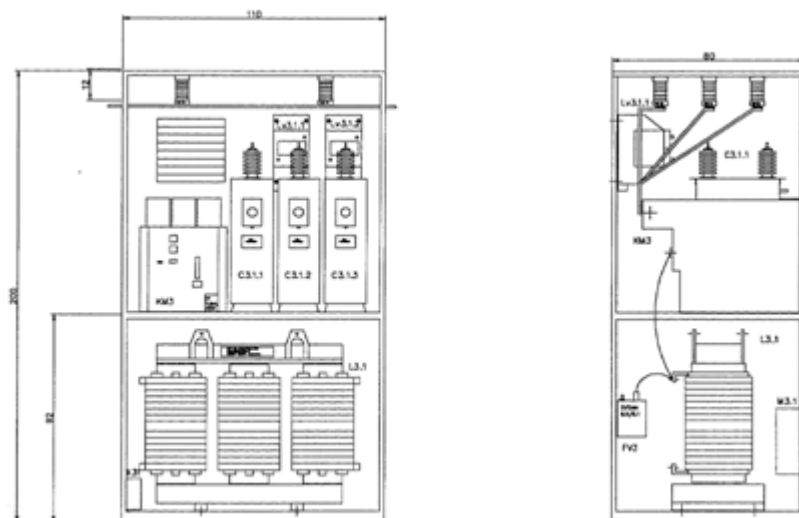
Obr. 7-4 FKR6/3220-3-R sestava polí a rozměry

Silové schéma rozváděče sestává ze tří paralelně připojených kompenzačních stupňů. Každý z těchto stupňů má určitý kompenzační výkon a vzájemným poměrem výkonů je dána váha stupňů 1:2:4.

Každý ze stupňů sestává z následujících součástí:

- Vakuového stykače ABB-SACE, V7-Contact, v provedení pro pevnou montáž s vestavěným držákem pojistek CMF 7,2 kV. Tento spínací prvek je zvláště vhodný ke spínání kapacitních proudů a vyznačuje se vysokou životností a spolehlivostí
- Trojfázové filtrační tlumivky se železným jádrem tvoří s příslušnou kondenzátorovou baterií sériový filtrační LC obvod laděný na 240 Hz
- jednofázové kondenzátory VISHAY Roederstein zapojeny do trojúhelníku tvoří baterii příslušného stupně kompenzace.

První stupeň má baterii 600 kvar (460 kvar kompenzačních), druhý 1200 kvar (920 kvar), třetí se skládá z tlumivek i baterií celkem 2400 kvar (1840 kvar). Kondenzátory jsou opatřeny pojistkami svítek, vestavěnými vybijecími odpory a tlakovým pojistným spínačem. [8]



Obr. 7-5 FKR6/3220-3-R pole RC1.3.1 (1840 kvar)

Spínání je prováděno vakuovými stykači V7-contact, které jsou vybaveny integrovanými pojistkovými spodky 400 A pro pojistky CMF 7,2 kV, 63 A až 315 A. Každý ze tří stupňů je vybaven trojfázovou tlumivkou se železným jádrem a s kondenzátorovou baterií tvořící LC filtrační obvod pro omezení vyšších harmonických, který je vyladěn na 240 Hz. Kondenzátorové baterie jsou vybaveny vnitřními pojistkami svitků, vnitřními vybíjecími odpory a mají přetlakový spínač. Přívod je vybaven měřením proudu ve třech fázích a měřením sdruženého napětí. Regulace jalového výkonu je automatická podle proudu a napětí v přívodu 35 kV.



Obr. 7-6 Vakuový stykač V7-contact a pojistky typu CMF

7.2.3 Pomocné a regulační obvody

Pomocné a regulační obvody zahrnují obvody regulátoru jalového výkonu, ovládání stykačů jednotlivých stupňů, zpětného hlášení stavu stykačů, hlášení a signalizace poruch a vypnutí hlavního vypínače při poruše, měření proudu kompenzovaného rozvaděče a stav chlazení silových skříní. Tyto obvody jsou napájeny externím střídavým napětím 230 V 50 Hz, jistěných minimálně 16 A soustavy izolované. Většina pomocných obvodů se nachází v samostatném prostoru přívodního mezipole RC1.0 a na jeho dveřích. Do těchto míst jsou přivedeny všechny signály pro regulaci, externí pomocné napětí a hlášení o stavu hlavního vypínače.

Přívod pomocného napětí je chráněn odrušovacím členem kombinovaným s přepětovou ochranou. Dále je zde nadproudové jistění pomocných obvodů, prvky pro zapnutí ovládacího napětí a regulace, signalizace zapnutí vakuových stykačů a havarijní vypnutí vysokého napětí. Případné poruchy jsou

registrovány a signalizovány mikroprocesorovým signalizačním zařízením PSZ a působí na vypnutí hlavního vypínače prostřednictvím jeho nulové (podpěťové) cívky. Proud kompenzace je měřen ampérmetry napájených z proudového transformátoru v přívodu kompenzace. Dále prostor obsahuje některá pomocná relé a ochrany.

Signálem pro funkce regulátoru je sdružené napětí kompenzované sítě odebírané z přístrojových transformátorů napětí 35000/100 V a proud jedné fáze přívodu do kompenzované části sítě (zahrnující i proud kompenzátoru) z přístrojového transformátoru proudu 150/5 A.



Obr. 7-7 Čelní panel regulátoru NOVAR 214 (206)

Připínání a odpínání jednotlivých silových stupňů se děje na základě povelu mikroprocesorového regulátoru NOVAR 206. Na základě fázového posunu signálu napětí a proudu přívodu do kompenzovaného úseku sítě zjistí okamžitou hodnotu účinnosti odběru. Vyhodnotí odchylku mezi žádanou a skutečnou hodnotou účinnosti, určí velikost potřebné změny kompenzačního výkonu a realizuje spínání jednotlivých stupňů. Podle stanoveného algoritmu určuje, který ze stupňů je zapotřebí zapnout či vypnout. Zpoždění manipulace je závislé na momentálním požadavku a je rovněž respektované díky osazení "rychlo vybíjení", což umožňuje krátkou dobu "znovu zapnutí" příslušného stupně (doba blokování 30 s). Regulátor umožňuje obsluhu nastavit parametr regulace, jako je žádaná hodnota účinnosti a zpoždění. Při své funkci preferuje spínání v kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň, který je nejdelší dobu vypnutý a vypíná stupeň nejdelší dobu zapnutý. Je tak zajištěno rovnoměrné využití a tedy i opotřebení stupňů. Regulátor umožňuje rovněž ruční režim ovládání kompenzačních

stupňů. Během své funkce nepřetržitě digitálně zobrazuje okamžitou hodnotu účinníku kompenzovaného odběru a je možno zobrazit i další měřené parametry. [8]

Regulátor by měl umožňovat měření vyšších harmonických, dálkové nastavování parametrů regulace a odečítání naměřených hodnot pro sběrnici RS 485.

V silové části RC se z pomocných obvodů nalézají obvody cívek stykačů, signalizace stavů stykačů, ventilace a signalizace poruch.

7.3 Zhodnocení

U 6 kV motorů DL se využijí k montáži komponentů individuální kompenzace jednotlivé stávající přípojnícové skříně. V těchto rozvaděcích se musí provést určité konstrukční úpravy a to především výroba nosného rámu pro ochrannou tlumivku a zhotovení podpůrné konstrukce pro pojistkové spodky vn pojistek. Kondenzátor se umístí do plechové vany na dno těchto rozvaděčů.

a) kalkulace (4x motor DL) :

Počet	Název	Cena za kus (Kč)	Celková cena (Kč)
12	Patrona pojistková CEF 3,6/ 7,2 kV 63 A	1025	12300
2	Kondenzátor CPEFS 23-6,6/ 200	21000	42000
2	Kondenzátor CPEFS 23-6,6/ 150	19600	39200
4	Tlumivka IC reactor 7,2 kV, 50 A 0,05 mH	60000	240000
12	Pojistkový spodek UCE	2000	24000
	Hutní a spojovací materiál	40000	40000
88hod.	Montážní práce (dva pracovníci)	á450 Kč/hod.	79200
Celkem			476 700

Tab. 7-1 Cenová kalkulace (DL)

Pro motory pohonů kola se vyrobí rozvaděčová skříň tvořena dvěma poli, která by byla umístěna v rozvodně vn hned vedle rozvaděče softstartérů motorů kola. Každé z těchto polí by sloužilo pro kompenzaci motoru M1 a M2. V tomto místě by se kompenzační články (kondenzátor + tlumivka) připojili přes pojistky a 3x stíněným s-lanem (šňůrou) vn 1x35 mm² na výstupní kontakty stykačů těchto motorů.

b) kalkulace (2x motor kola) :

Počet	Název	Cena za kus (Kč)	Celková cena (Kč)
6	Patrona pojistková CEF 3,6/ 7,2 kV 63 A	1025	6150
2	Kondenzátor CPEFS 23-6,6/300	23000	46000
2	Tlumivka IC reactor 7,2 kV,50 A 0,1 mH	70000	140000
6	Pojistkový spodek UCE	2000	12000
2	skříňový rozváděč o rozměrech š x1000 v x2200 h x800 mm	25000	50000
	Hutní a spojovací materiál	20000	20000
22hod.	Montážní práce (dva pracovníci)	á450 Kč/hod.	19800
Celkem			293 950

Tab. 7-2 Cenová kalkulace (koleso)

c) kalkulace centrální kompenzace :

Během hlavních revizí, které se uskutečňují jednou za 2 roky a nebo při těžkých poruchách jako jsou například zkratby nebo, a to nejčastěji, výměna vadných ložisek rotačního kompenzátoru se musí přistavit drahá zdvihací technika, mít potřebné náhradní díly a zajistit odbornou firmou, která provede samotnou opravu v tomto případě výměnu ložisek. Dále je nutno po dobu opravy odstavit celý technologický celek z provozu. Z finančního hlediska se ztráty (chybějící kubatura) při pětidenním prostoji dají vyčíslit na částku cca 875 000 Kč. V řeči čísel kdy sada nových ložisek stojí 100 000 Kč, práce externí firmy vychází na 80 000 Kč (při nasazení čtyř pracovníků po dobu 5 dnů s osmihodinovou pracovní dobou při sazbě 500 Kč/hod) a pronájem těžkého autojeřábu (8000 Kč/hod na celých 5 dní) stojí 320 000 Kč je celková částka vložená do výměny vadných ložisek **500 000 Kč**. Při poruše je tato celková částka ještě navýšena o ztrátu zisku z těžby, která činí 875 000 Kč, na **1 375 000 Kč**.

Při běžném ročním provozu a údržbě, a finančním pokrytím činných ztrát rotačního kompenzátoru (2 300 000 Kč v cenách za kWh z roku 2010) se provozní náklady pohybují ve výši 2 550 000 Kč na rok.

Cena výše popsaného kompenzačního rozváděče FKR6/3220-3-R je, dle vyjádření dodavatelské společnosti, je 3 000 000 Kč včetně jeho výzbroje, instalace a funkčních zkoušek.

Celková vstupní investice se v součtu jednotlivých položek individuální a skupinové kompenzace se pohybují ve výši 3 770 650 Kč. V porovnání s ročními náklady na provoz rotačního kompenzátoru a výše objemu vstupních investic je teoretická doba návratnosti již po necelých 18. měsících po uvedení do provozu tohoto zařízení.

8. Závěr

V posledních letech došlo na kolesovém rypadle KU 800/20 k částečné modernizaci. Byla provedena rekonstrukce špičky kola, při které došlo k výměně nejen celé převodovky, ale i počtu a typu motorů spolu se zněnou jejich rozběhu použitím vn-softstartérů. Došlo též k výměně motorů převodovek hlavních pohybů stroje (výsun, otoč, zdvih), k jejichž řízení a regulaci je použito frekvenčních měničů. Tyto nové komponenty patří mezi nelineární spotřebiče, které "znečišťují" rozvodnou soustavu generování harmonických složek, které mohou způsobit přetížení kompenzačních kondenzátorů.

Jádrem mé diplomové práce, kromě návrhu způsobu řešení samotné kompenzace, bylo provedené měření na napěťových hladinách 3x35 kV IT na přívodu a 3x6 kV IT- soustavy silového rozvodu stroje při vypnuté stávající kompenzaci. Naměřené hodnoty napětí vyhovují mezím $\pm 10 \%$ jak požaduje norma ČSN EN 50160. Z hlediska dodržení podmínek této normy nejsou nutná jakákoliv opatření.

Dále při tomto měření v soustavě 3 x 6 kV pro napájení pohonů dopravní linky nebyl zjištěn zvýšený obsah žádného harmonického napětí (viz. obr.6-8) a z tohoto hlediska vyhovuje normě ČSN EN 61000-2-4. V opačném případě by mohlo dojít ke vzniku poruch na řídicích systémech technologie velkstroje, na transformátorech, elektromotorech, na kompenzačních bateriích, počítačových sítích a také by mělo vliv na funkčnost osvětlení.

Měření dále prokázalo, že měřená technologie napájená ze sítě 3 x 6 kV je ve všech měřených režimech provozována s velmi špatným účinnkem od 0,2 a méně při chodu technologie naprázdno až po 0,65 při těžbě. Odběr činného výkonu dosahoval v průběhu 24hodinového měření hodnot 2,154 MW. Odběr celkového zdánlivého výkonu odebíraného z napájecí sítě dosahoval až 3,5 MVA. Odebíraný induktivní jalový výkon dosahoval za provozu rýpadla hodnot až 2,754 Mvar. Technologie rýpadla odebírá z napájecí sítě značný jalový výkon a přívodní kabely a transformátory jsou zbytečně přetěžovány velkými jalovými proudy, které snižují životnost tohoto zařízení.

Abych dosáhl normativní hodnoty účinnku $\cos \varphi = 0,95$ a snížil zatížení tohoto zařízení, doporučuji provést kompenzaci odběru jalové energie použitím kombinace individuální kompenzace jednotlivých motorů dopravní linky, včetně motorů kola o celkovém instalovaném kompenzačním výkonu $Q_C = 1132$ kvar a skupinové kompenzace, kterou tvoří filtračně-kompenzační stupňovitě spínaný rozváděč FKR6/3220-3-R řízený mikroprocesorovým regulátorem o výkonu $Q_C = 3200$ kvar. Kompenzační výkon tohoto zařízení by měl pokrýt i případné výpadky či poruchy kompenzačních článků individuální kompenzace.

Celková vstupní investice se v součtu jednotlivých položek individuální a skupinové kompenzace pohybuje ve výši 3 770 650 Kč. V porovnání s ročními náklady na provoz rotačního kompenzátoru a výše objemu vstupních investic je teoretická doba návratnosti již po necelých 18. měsících po uvedení do provozu tohoto zařízení.

Tato práce by mohla v budoucnu sloužit jako podkladový materiál při dalších jednáních o návrzích technického řešení způsobu řešení kompenzace jalové energie na tomto kolesovém rýpadle.

Použitá literatura

BRAUNER Jiří, ŠINDLER Zdeněk - skriptum Elektrická část elektráren. Ostrava. 1987. 242 stran

SANTARIUS Pavel - Elektrické stanice a vedení. 2. vyd. VŠB-TU Ostrava, Ostrava. 2002. 212 stran

ISBN 80-248-0175-2

TKOTZ Klaus a kol. - Příručka pro elektrotechniku. 2. vyd. EUROPA-SOBOTÁLES, Praha 2006.

623 stran, ISBN 80-86706-13-3

HOTOVÝ Albert, LANG Pavel - Projektování, výstavba a provoz uhelných lomů. SNTL, Praha 1967.

315 stran, 04-404-67

DOČEKAL Antonín, BOUČEK Stanislav - skriptum Elektrárny II. přednášky. ČVUT, Praha 1995

HELEBRANT František, HOJDAR Josef, GONDEK Horst. Povrchové dobývací stroje. 1. vyd. VŠB,

Ostrava 1993. 171 stran, ISBN 80-7078-168-8

podnikové normy :

[1] NPN 31-1-12(10) elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 1

[2] NPN 31-7-702(03) elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 7

dokumentace :

Škoda Plzeň, Technická dokumentace synchronního kompenzátoru 1HKY 5658/6

Kompel, Technická dokumentace Kompenzačního rozváděče FKR6/3220-3-R

Unex Uničov, Technická dokumentace kolesového rypadla KU800/20

[4] Přenos a rozvod elektrické energie, přednáška GURECKÝ J. VŠB, Ostrava

internet :

[3] Severočeské doly a.s., dostupné z : <http://www.sdas.cz/showdoc.do?docid=527>

[5] Vysoké učení technické v Brně, dostupné z :

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40148

[6] Emcos s.r.o., dostupné z : <http://www.volny.cz/molnarm/pdf/kompenzace.pdf>

[7] Emgzlin s.r.o., dostupné z http://www.emgzlin.cz/menu/kompenzace-o_kompenzaci.html

[8] Kompel s.r.o., dostupné z : <http://www.kompel.cz/vn-kompenzace/>

[9] SPŠ SaE Ústí n.L., dostupné z : <http://web.telecom.cz/tyrbach/komp-seriova.pdf>

[10] ZEZ SILKO s.r.o., dostupné z : <http://www.zez-silko.cz/>

Katalog ABB, dostupný z :

[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/12fb5ee8841c0e0bc125733e00398ef0/\\$file/CEF_CMF%20katalog%20cs%201VLC000027%20R1-2006.01.20.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/12fb5ee8841c0e0bc125733e00398ef0/$file/CEF_CMF%20katalog%20cs%201VLC000027%20R1-2006.01.20.pdf)

Seznam obrázků

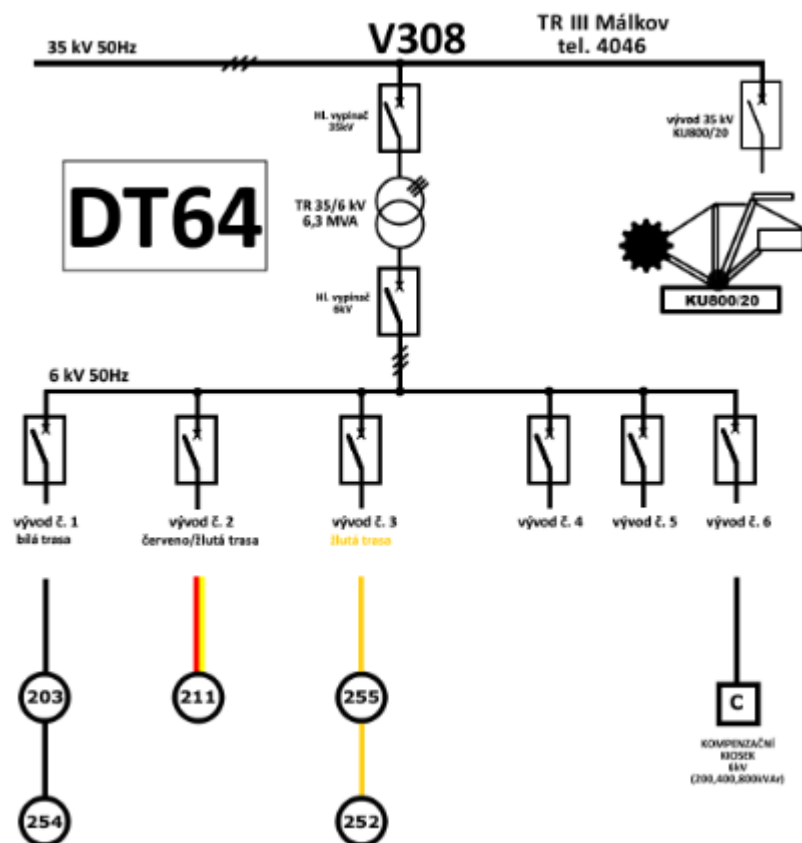
Obr. 2-1 Kolesové rýpadlo KU800/20	11
Obr. 2-2 Rozměry a dosahy kolesového rýpadla KU800/20	12
Obr. 3-1 Principiální přehledové schéma napájení technologických zařízení	15
Obr. 3-2 Rozsah těžební činnosti.....	21
Obr. 4-1 Posuv napětí a proudu induktivních spotřebičů	22
Obr. 4-2 Posuv napětí a proudu kapacitních spotřebičů	22
Obr. 4-3 Snížení fázového posunu.....	23
Obr. 4-4 Grafické vyjádření vztahů mezi výkony při výskytu vyšších harmonických	24
Obr. 4-5 Napěťové poměry před kompenzací.....	27
Obr. 4-6 Napěťové poměry po kompenzací a fázorový diagram	27
Obr. 4-8 Fázorový diagram paralelní kompenzace.....	28
Obr. 4-7 Schéma paralelní kompenzace	28
Obr. 4-9 Příklad individuální kompenzace.....	29
Obr. 4-10 Příklad skupinové kompenzace.....	30
Obr. 4-11 Příklad centrální kompenzace	31
Obr. 4-12 Kompenzační kondenzátory nn	33
Obr. 4-13 Kompenzační kondenzátory vn	34
Obr. 4-14 V-křivky synchronního stroje	35
Obr. 6-1 Konstrukce kolesového rýpadla KU800/20.....	39
Obr. 6-2 Rozběh DL bez materiálu.....	41
Obr. 6-3 Rozběh DL s materiálem.....	42
Obr. 6-4 Výkony DL P a Q při těžbě	43
Obr. 6-5 Efektivní hodnoty napětí a proudu	44
Obr. 6-6 Činný výkon a průběh $\cos\varphi$	45
Obr. 6-7 Vektorový diagram při $P = 1,6 \text{ MW}$	46
Obr. 6-8 Spektrum harmonických U v [%].....	47
Obr. 6-9 IC reactor 0,1mH	52
Obr. 6-10 IC reactor - rozměry.....	52
Obr. 6-11 Ilustrační schéma zapojení kompenzace kola	54
Obr. 6-12 Rozměry kondenzátoru CPEFS 23-6,6/200/WF	56
Obr. 6-13 Ochranná tlumivka 0,05mH	58
Obr. 6-14 Pojistkový spodek UCE	59
Obr. 7-1 Efektivní hodnoty U a I - těžba.....	65
Obr. 7-2 Měření P a $\cos\varphi$ - těžba.....	66
Obr. 7-3 Měření S a Q výkonů - těžba	67

Obr. 7-4 FKR6/3220-3-R sestava polí a rozměry	70
Obr. 7-5 FKR6/3220-3-R pole RC1.3.1 (1840 kvar)	70
Obr. 7-6 Vakuový stykač V7-contact a pojistky typu CMF	71
Obr. 7-7 Čelní panel regulátoru NOVAR 214 (206)	72
Obr. 8-1 Orientační přehledové schéma rozvodu vn	81
Obr. 8-2 Jednopolové schéma vn na KU800/20	82

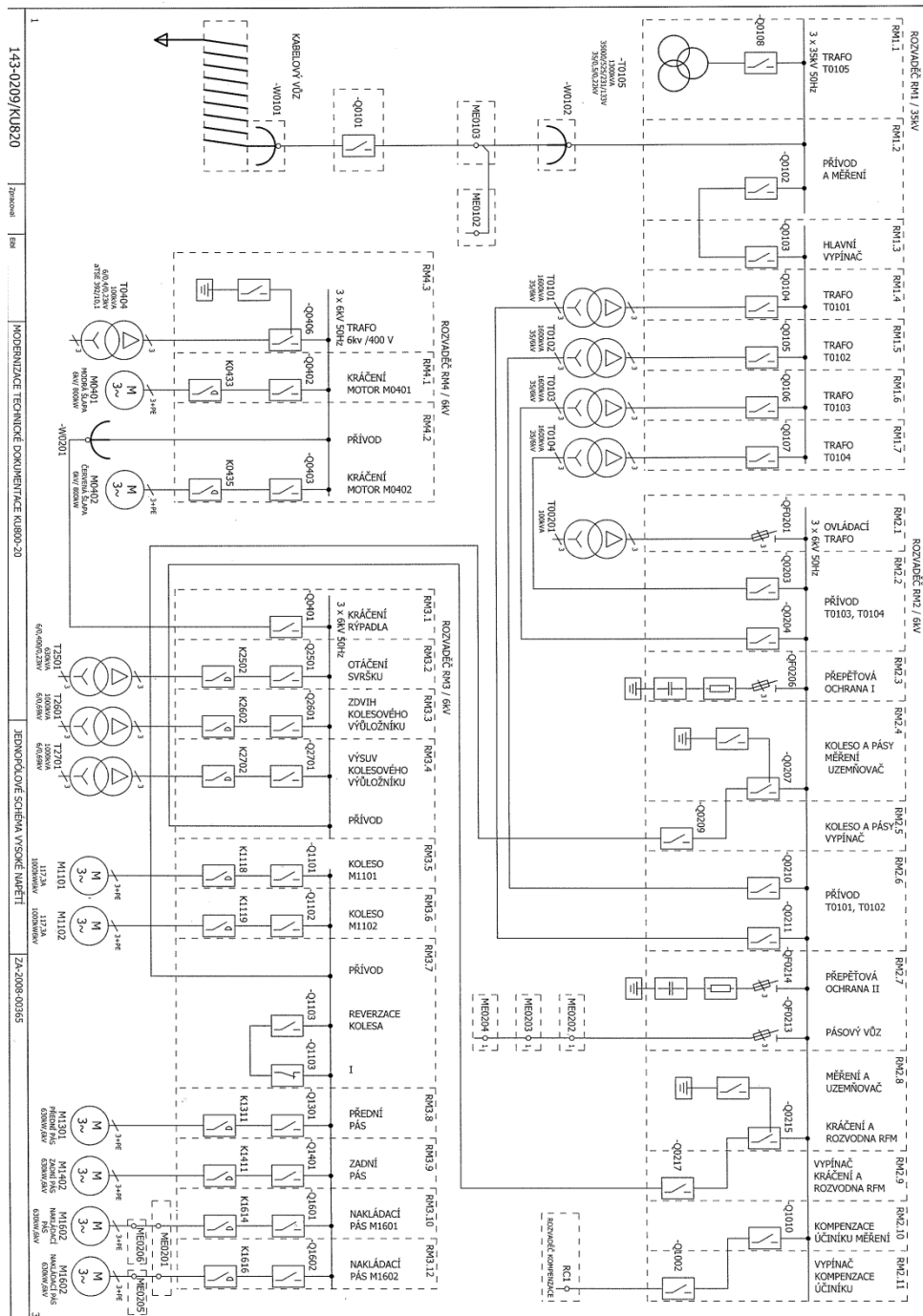
Seznam tabulek

Tab. 6-1 Hodnoty P a Q (bez materiálu)	48
Tab. 6-2 Hodnoty P a Q (s materiálem)	48
Tab. 6-3 Zvolený typ kondenzátoru Q=300 kvar	51
Tab. 6-4 Rozměry kondenzátoru Q=300 kvar.....	51
Tab. 6-5 Parametry ochranné tlumivky I.....	52
Tab. 6-6 Vn pojistkové vložky	53
Tab. 6-7 Zvolený typ kondenzátoru Q=200 kvar	55
Tab. 6-8 Rozměry kondenzátoru Q=200 kvar.....	56
Tab. 6-9 Parametry ochranné tlumivky II.....	58
Tab. 6-10 Vn pojistkové vložky	59
Tab. 6-11 Rozměry UCE 7,2	59
Tab. 6-12 Zvolený typ kondenzátoru Q=150 kvar	60
Tab. 6-13 Rozměry kondenzátoru Q=150 kvar	61
Tab. 6-14 Parametry ochranné tlumivky III.....	61
Tab. 6-15 Jalový výkon před a po kompenzaci.....	63
Tab. 7-1 Cenová kalkulace (DL).....	73
Tab. 7-2 Cenová kalkulace (koleso)	74

Přílohy



Obr. 8-1 Orientační přehledové schéma rozvodu vn



Obr. 8-2 Jednopolové schéma vn na KU800/20